

1 55<sup>e</sup> jaargang

# NATUUR '87 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



ROBOTS KRIJGEN ZINTUIGEN/ACTIVERINGSANALYSE/DE KOMENDE IJSTIJD/  
ONONDERBROKEN STROOMVOORZIENING/NEMATODEN/AANPASSINGEN  
IN DE EVOLUTIE



# HTS A

## HOGERE TECHNISCHE SCHOOL

### DEELTIJDSONDERWIJS

\* HTS-ING. CHEMISCHE TECHNOLOGIE

\* MODULAIRE STUDIES:

HOGERE PROCESKUNDE  
HOGERE BEDRIJFSHYGIËNE  
(HOGERE ARBEIDSHYGIËNE)

\* DIVERSE BIJZONDERE PAKKETTEN, WAAR-  
ONDER TECHNISCH PROGRAMMEUR, EN

\* EIGEN PAKKETSAMENSTELLING OOK  
MOGELIJK.



STICHTING  
**PHOTO A**  
POST HOGER TECHNISCH ONDERWIJS „AMSTERDAM“

1987-1988

\* BESTURINGSTECHNOLOGIE (M & A)

\* BEDRIJFSKUNDE

\* COMPUTER SCIENCE

\* MILIEUHYGIËNE - BASIS

.. .. . - SPECIALISATIES: -

- BODEM  
- LUCHT  
- WATER

\* MILIEU EFFEKT RAPPORTAGE

\* FLEXIBELE PRODUCTIE AUTOMATISERING



VRAAG INFORMATIE  
AAN BIJ DE  
ADMINISTRATIE!

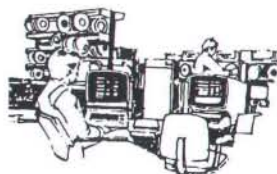


"AMSTERDAM"

HET ONDERWIJS WORDT 'S AVONDS,  
OVERDAG, DANWEL 'S AVONDS EN OVER-  
DAG GEGEVEN.

TOELATING: DIPLOMA MTS/HAVO/

VWO MET WISKUNDE EN NATUURKUNDE  
IN HET EINDEXAMENPAKKET (OF GELIJK-  
WAARDIG). DE STUDIE VOOR DE "ING"-  
TITEL DUURT VIJF JAAR. MET EEN  
HBO-A/MLO DIPLOMA OF EEN HBO-B/  
HLO DIPLOMA KAN DIT IN MINDER DAN  
VIJF JAAR. DE BIJZONDERE PAKKETTEN  
EN MODULAIRE STUDIES TWEE A  
DRIE JAAR.



👉 **OPEN DAG:** 👈  
ZAT. 21 FEB. 1987  
10.00 - 13.30 UUR

**OPEN AVOND:**  
JUNI 1987

TOELATING:

TOT DE CURSUSSEN WORDEN BEZITTERS VAN EEN  
HTS-DIPLOMA TOEGELATEN EN ZIJ DIE DOOR KENNIS  
EN/OF ERVARING, OP EEN GELIJKWAARDIG NIVEAU  
ZIJN GEKOMEN.  
TEKORTEN KUNNEN WORDEN AANGEVULD BIJ HET  
DEELTIJDSONDERWIJS.

EUROPAWEG 23  
1079 PC AMSTERDAM  
☎: 020-429333

DE SCHOOL STAAT SCHUIN TEGENOVER DE RAI



# NATUUR '87 & TECHNIEK

Losse nummers:  
f 8,45 of 160 F.

**natuurwetenschappelijk en technisch maandblad**



## Bij de omslag

Eén van de meest moderne robotarmen beweegt bijna overeenkomstig met de menselijke arm. Deze robotarm is opgebouwd uit geheugenmetaal; dat is een metaal dat na extreem gebogen te zijn, terug kan springen in zijn oorspronkelijke toestand. Daardoor is het misschien in de naaste toekomst mogelijk robotarmen compacter, lichter en goedkoper te maken. Zie ook pag. 2 e.v. (Tekening: Toki corporation, Japan/Elektronica 2000, Amsterdam)

Hoofredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofredacteur: Dr. G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs. H.E.A. Dassen, Drs. W.G.M. Köhler, Drs. T.J. Kortbeek.

Secretaris: R. van Eck.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Older Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Dr. J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir. J.D. van der Baan, Dr. P. Bentvelzen, Dr. W. Bijleveld, Dr. E. Dekker, Drs. C. Floor, Dr. L.A.M. v.d. Heijden, Ir. F. Van Hulle, Dr. F.P. Israel, Drs. J.A. Jasperse, Dr. D. De Keukeleire, Dr. F.W. van Leeuwen, Ir. T. Luyendijk, P. Mombaerts, Dr. C.M.E. Otten, Ir. A.K.S. Polderman, Dr. J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr. A.F.J. v. Raan, Dr. A.R. Ritsema, Dr. M. Sluysen, Dr. J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof. dr. J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof. dr. W. J. van Doorenmaalen, Prof. dr. W. Fiers, Prof. dr. J. H. Oort, Prof. dr. ir. A. Rörsch, Prof. dr. R. T. Van de Walle, Prof. dr. F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-van den Heuvel, M. Verreijt, E. Vijgen.

Druk.: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Telefoon 04754-1223\*.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044\*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

**EURO**  
ARTIKEL



Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI) en PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR), met de steun van het Directoraat-generaal Telecommunicatie, Informatie-industrieën en Innovatie van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



**Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.**



---

## INHOUD

---

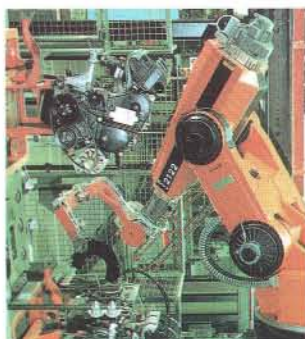
VRAGEN, PRIJSVRAAG, FOTO VAN DE MAAND	X
AUTEURS	XII
HOOFDARTIKEL IJS	1

### ROBOTS KRIJGEN ZINTUIGEN

2

H.M.J. van Brussel

Vandaag de dag zijn robots van cruciaal belang voor een toenemend aantal bedrijfstakken. De eerste generatie robots, die nu volop in bedrijf is, bestaat meest uit eenvoudige machines. Ze kunnen hun werkomgeving niet overzien en een verandering in hun omgeving leidt vaak tot zinloze bewegingen van de robotarm. Het zijn domme machines. De inspanningen zijn erop gericht robots slimmer te maken. Daartoe moeten ze hun omgeving kunnen waarnemen. Dit artikel beschrijft hoe robots kunnen zien en voelen en dan reageren.



---

### DE KOMENDE IJSTIJD

14

A.J. van Loon

Het weer vertoont de laatste jaren, zeker in West-Europa, opvallende uitschieters, zoals droge zomers en koude winters. In Friesland werden in 1985 en 1986 voor het eerst sinds lange tijd weer Elfstedentochten gehouden. Is dit een teken dat er een nieuwe ijstijd begint? Of wordt toch, zoals sommigen beweren, het klimaat wereldwijd juist warmer door het broeikaseffect. De eerste onderzoekers van dit fenomeen moesten grote weerstanden bij hun tijdgenoten overwinnen. Dank zij hun vasthoudendheid is over de oorzaken van ijstijden veel bekend, maar kennelijk nog lang niet genoeg.



---

### NEMATODEN

24

Overal, onzichtbaar en soms gevaarlijk

L.A. Bouwman en K. Romeyn

Nematoden komen voor in woestijnen en in de bodem van meren, rivieren, hete bronnen en de poolzee. Zij worden levend aangetroffen in het zuidpoolijs en op enorme diepten in bergmeren en oceanen. In feite kunnen deze wormen overal leven waar water voorkomt, ook al is het maar heel weinig. Nematoden kunnen vrijlevend voorkomen, maar ook als parasiet. De parasitaire vormen kunnen een ernstige bedreiging vormen voor tal van gewassen, maar ook voor vee en de gezondheid van de mens.





# NATUUR '87 & TECHNIEK

januari/55<sup>e</sup> jaargang/1987



## ACTIVERINGSANALYSE

34

Meten na verval

**H.A. Das**

Door bestraling in een kernreactor of cyclotron kan men een zeer kleine fractie van de atoomkernen in een monster instabiel en daarmee radioactief maken. Vergelijking van de radioactiviteit die zodoende in monsters en standaards wordt opgewekt, leidt tot een gevoelige bepaling van een reeks elementen. Een voordeel van deze methode is, naast de grote gevoeligheid, de mogelijkheid vele elementen tegelijk te bepalen. Het voornaamste nadeel is dat er een nucleaire installatie, meestal een kerncentrale, voor nodig is.



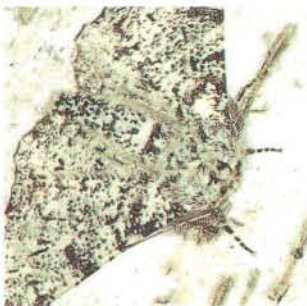
## ONONDERBROKEN STROOMVOORZIENING

46

Elektriciteit voor fijnproevers

**P.L.M. Beems**

De kwaliteit van de stroomvoorziening in vrijwel alle geïndustrialiseerde landen is zo hoog, dat de meeste gebruikers van elektrische energie daarmee geen enkel probleem ondervinden. De kleine onregelmatigheden die in de energievoorziening optreden worden door deze niet-gevoelige gebruikers niet opgemerkt. Dat gebeurt alleen als het licht uitvalt. Dat geldt niet voor ziekenhuizen, computercentra, vliegvelden en andere installaties, die alleen kunnen functioneren bij de constante levering van elektriciteit van hoge kwaliteit.



## AANPASSINGEN

58

**J.H. te Velde, K.Th. Eisses en A.J. Klarenberg**

Alle organismen zijn min of meer aangepast aan het milieu waarin ze leven. Het tot stand komen van deze aanpassing is een centraal gegeven van de evolutietheorie. Aanpassingen kunnen ons ook iets leren over de relatie van een organisme met de buitenwereld waarin het zich moet handhaven. De benodigde aanpassingen vormen immers bijna altijd een antwoord op externe omstandigheden. In dit artikel wordt het begrip aanpassing vanuit drie verschillende invalshoeken bekeken: als evolutionair proces, als fysiologisch proces en als toestand.

## ANALYSE EN KATALYSE

68

## ACTUEEL

80

## TEKST VAN TOEN

84



# MEDEDELINGEN AAN ONZE ABONNEES

## DE NIEUWE JAARGANG

Met dit januarinummer begint de 55e jaargang van NATUUR & TECHNIEK, die in het totaal weer 12 nummers zal omvatten.

De prijs voor een jaarabonnement bedraagt f 99,50 of 1925 F, voor studenten f 77,50 of 1475 F. In februari a.s. ontvangt u een voorgedrukte acceptgiro of overschrijvingsformulier, bestemd voor het voldoen van uw abonnementsgeld. Wij verzoeken u vriendelijk uitsluitend op deze wijze te betalen.

Abonneementen op NATUUR & TECHNIEK worden genoteerd tot schriftelijke opzegging. Verlenging vindt automatisch plaats, tenzij het abonnement uiterlijk op 15 december van het voorafgaande jaar is opgezegd.

## HET BEWAREN WAARD

Voor het bewaren van volledige jaargangen van NATUUR & TECHNIEK zijn speciale cassettes verkrijgbaar. De prijs van deze in groen kunstleer met goudopdruk uitgevoerde cassette is f 15,- of 295 F (exclusief verzendkosten). Eveneens in februari a.s. ontvangt u een acceptgiro of overschrijvingsformulier waarmee u een of meer cassettes kunt bestellen, voor de nieuwe jaargangen en voor de jaargangen vanaf 1979. Voor oudere jaargangen zijn cassettes zonder jaaropdruk verkrijgbaar. Binnen vier weken na ontvangst van uw storting zenden wij u de bestelde cassette(s).

## JAARINDEX

Vanaf maart a.s. is de index 1986 verkrijgbaar. Deze wordt automatisch meegeleverd bij bestelling van de opbergcassette voor 1986, maar is ook los te bestellen tegen betaling van de verzendkosten.

## BOEKEN VAN NATUUR EN TECHNIEK

### VERANDEREND NEDERLAND Een halve eeuw ontwikkelingen op het platteland

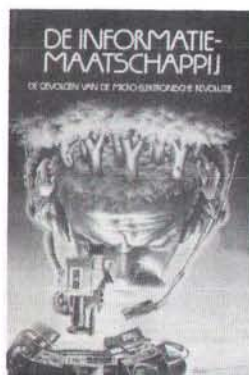
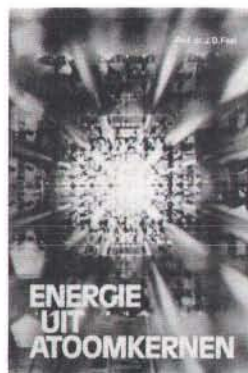
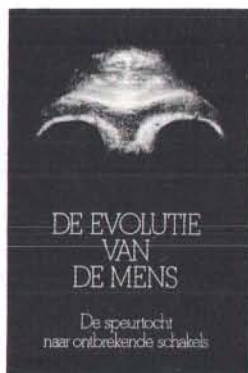
Deze jubileumuitgave van de Land-inrichtingsdienst van het Ministerie van Landbouw en Visserij beschrijft de veranderingen in de landbouw, het landschap, de natuur en de openlucht recreatie gedurende de laatste vijftig jaar.

256 Pagina's, in vierkleurendruk.  
Gebonden in linnen band met stofomslag.

Prijs: f 69,50 of 1335 F.







### **ENERGIE UIT ATOOMKERNEN**

Een uitgave over kernenergie en de toepassing van radioactieve stoffen in wetenschap, techniek en geneeskunde, door prof dr J.D. Fast. 350 Pagina's met ruim 500 afbeeldingen in kleur en zwart/wit. In paperback-uitvoering.

Prijs: f 40,- of 775 F. Voor abonnees: f 30,- of 575 F.

### **DE EVOLUTIE VAN DE MENS**

#### **De speurtocht naar ontbrekende schakels**

Een persoonlijk verslag van de bekendste antropologen over hun onderzoek naar de ontbrekende schakels in de evolutiestamboom van de mens.

336 Pagina's met ruim 500 afbeeldingen. In vierkleurendruk. In linnen band met stofomslag.

Prijs: f 52,50 of 1015 F. Voor abonnees: f 40,- of 775 F.

### **DE INFORMATIEMAATSCHAPPIJ**

#### **De gevolgen van de micro-elektronische revolutie**

Een boek over de invloed van de informatica, micro-elektronica en automatisering op onze samenleving, en over de achterliggende processen, fysische grondslagen enz.

288 Pagina's met ca. 300 afbeeldingen in vierkleurendruk. In linnen band met stofomslag.

Prijs: f 47,50 of 915 F. Voor abonnees: f 37,50 of 720 F.



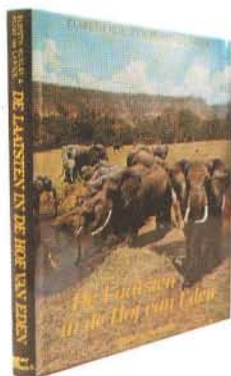
### **CELLEN, WEEFSELS EN ORGANEN**

Een studieatlas met bijna 700 foto's, gemaakt met de scanning-elektronenmicroscoop, die een ruimtelijk beeld geven. Door prof dr Richard G. Kessel en dr. Randy H. Kardon. 320 Pagina's, in zwart en grijsdruk.

Prijs: f 94,50 of 1825 F. Voor abonnees: f 65,- of 1250 F.



# MEDEDELINGEN AAN ONZE ABONNEES



## DE LAATSTEN IN DE HOF VAN EDEN

Belevissen met in groepen levende dieren in Afrika, vastgelegd in een boeiende tekst door de journaliste Elspeth Huxley, met fraaie kleurenfoto's van de natuuronderzoeker/fotograaf Hugo van Lawick.

192 Pagina's met 99 kleurenfoto's. In linnen band met stofomslag.

Prijs: f 49,90 of 955 F.

Voor abonnees: f 32,50 of 635 F.

NATUUR & TECHNIEK geeft, in samenwerking met Scientific American, een serie boeken uit onder de titel DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK. Wanneer u zich op deze serie abonneert, krijgt u elk kwartaal een deel uit deze unieke boekenserie toegezonden, zonder enige koopverplichting. De prijs per boek is f 55,- of 1065 F bij abonnement op de serie; losse delen kosten f 69,50 of 1335 F (deze prijzen zijn exclusief verzendkosten en blijven voor de eerste zes delen onveranderd gehandhaafd). Alle boeken zijn in linnen gebonden en voorzien van een stofomslag. Op aanvraag zal ons Bestelhuis u graag een uitgebreide brochure over DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK toezenden.

## MACHTEN VAN TIEN

*Dimensies in het heelal*

Wetenschappelijke en filosofische aspecten van de fysica van de ruimte en de tijd.



## MACHTEN VAN TIEN

### Dimensies in het heelal

Een fantastische reis in 42 stappen naar de grenzen van de ons bekende wereld, van de verste melkwegstelsels tot de kleinste deeltjes in de mikrokosmos.

In vierkleurendruk en zwart/wit,  
164 pagina's met 132 afbeeldingen.

## MENSELIJKE VERSCHIEDENHEID

*Het spel van erfelijkheid, milieu en toeval*

Redactioneel: J. A. H. H. H.



## MENSELIJKE VERSCHIEDENHEID

### Het spel van erfelijkheid, milieu en toeval

Het genetisch erfgoed van de mens laat ruimte voor een rijke variatie in de lichamelijke en geestelijke ontwikkeling van individuen.

In zwart/wit druk met steunkleur,  
184 pagina's met 162 afbeeldingen.

## BOUWSTENEN VAN HET ATOOM

*De wetten van de natuurkunde*

Wetenschappelijke en filosofische aspecten van de fysica van de ruimte en de tijd.



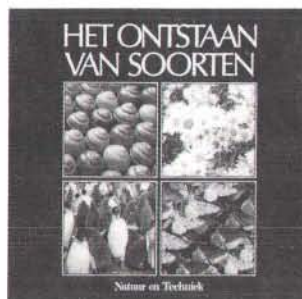
## BOUWSTENEN VAN HET ATOOM

### De wetten van de natuurkunde

Over de ontdekking van de fundamentele bouwstenen van het ooit als ondeelbaar beschouwde atoom: het elektron, het proton en het neutron.

In zwart/wit druk, 208 pagina's met 49 afbeeldingen.





### HET ONTSTAAN VAN SOORTEN

De evolutieleer op begrijpelijke wijze duidelijk gemaakt aan de hand van talrijke voorbeelden. Speciaal geschikt voor leerlingen van 12 - 17 jaar bij de biologielessen.

120 Pagina's met ruim 200 foto's en tekeningen, in zwart/wit en vierkleurendruk.

Prijs: f 24,50 of 475 F. Voor abonnees: f 17,50 of 335 F. Bij bestellingen voor het onderwijs (min. 10 ex.): f 15,- of 285 F.

## WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK

### HET ZONNESTELSEL

De wereld en haar kosmische buien

Probleem: De wereld en haar kosmische buien



### HET ZONNESTELSEL

**De aarde en haar kosmische buien**

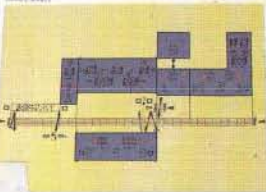
Een overzicht van de oorsprong, de geschiedenis en de toekomst van ons zonnestelsel. Met vele telescoopopnamen en satellietfoto's, speciaal voor de Nederlandse editie aangevuld met het meest recente materiaal.

In vierkleurendruk en zwart/wit, 180 pagina's met 214 afbeeldingen.

### KLANK EN MUZIEK

De combinatie van wetenschap en cultuur

Probleem: De combinatie van wetenschap en cultuur



### KLANK EN MUZIEK

**Een combinatie van wetenschap en cultuur**

Een boek over wetenschappelijk onderzoek naar de subjectieve ervaring van het luisteren naar muziek. Een verkenning van het grensgebied van (psycho)fysica, muziek en techniek.

In zwart/wit druk, 256 pagina's met 213 afbeeldingen, en twee grammofoonplaatjes.

### FOSSIELEN

De wereld van de evolutie

Probleem: De wereld van de evolutie



### FOSSIELEN

**Een beeld van de evolutie**

Het in een overkoepelende theorie onderbrengen van de natuurlijke selectie van Darwin en de genetica van Mendel was een doorbraak in de wetenschap. Fossiele vondsten steunen de moderne evolutietheorie.

In vierkleurendruk en zwart/wit, 248 pagina's met 259 afbeeldingen.





### DE EERSTE DRIE MINUTEN

#### Het ontstaan van het heelal

Over wat er gebeurde in het allervroegste begin, ruim vijftien miljard jaar geleden, ten tijde van de 'Big Bang'. Door prof dr Steven Weinberg, Nobelprijswinnaar fysica, 1979.

216 Pagina's met ca. 46 foto's en tekeningen in zwart/wit en vierkleurendruk. In linnen band met stofomslag.

Prijs: f 40,- of 775 F. Voor abonnees: f 30,- of 575 F.

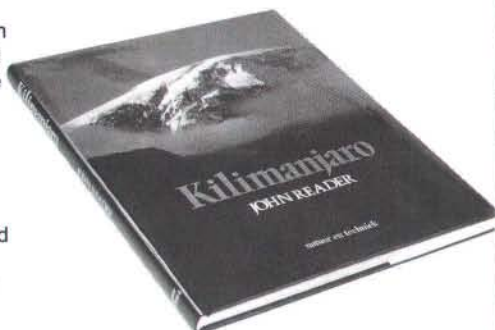
### KILIMANJARO

#### Een verkenning van de hoogste berg in Afrika

De bekende fotojournalist John Reader geeft in tekst en beeld zijn indrukken van de berg die tot nu toe in een wolk van legendes en mysteries was gehuld.

160 Pagina's, waarvan 64 pagina's foto's in vierkleurendruk. In linnen band met stofomslag.

Prijs: f 69,50 of 1335 F. Voor abonnees: f 55,- of 1065 F.

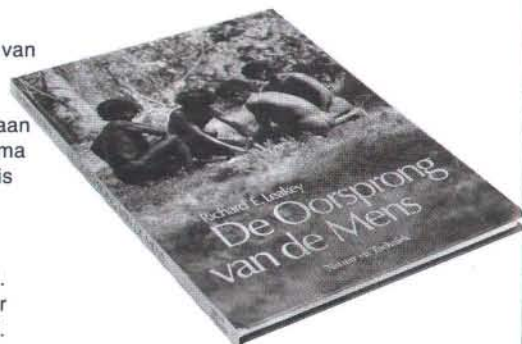


### DE OORSPRONG VAN DE MENS

Een boek naar de TV-serie van de bekende antropoloog Richard Leaky over de vondsten en ontdekkingen aan de hand waarvan een schema van de menselijke evolutie is samengesteld.

80 Pagina's met ruim 80 afbeeldingen, in vierkleurendruk. In linnen band.

Prijs: f 24,50 of 475 F. Voor abonnees: f 19,75 of 385 F.



### DE CAMBRIDGE ENCYCLOPEDIE VAN DE AARDWETENSCHAPPEN

#### Een nieuwe kijk op de aarde

Een standaardwerk samengesteld op basis van de resultaten van de nieuwste onderzoeken o.a. op het gebied van de bewegingen van de aardkorst.

495 Pagina's met 517 afbeeldingen, in vierkleurendruk. In linnen band met stofomslag.

Prijs: f 125,- of 2425 F.

Voor abonnees: f 95,- of 1825 F.



# MEDEDELINGEN AAN ONZE ABONNEES

## VONDSTEN UIT HET VERLEDEN

### Oudheidkundig bodemonderzoek

Een uitgave in samenwerking met de Stichting voor de Nederlandse Archeologie, over recent onderzoek door Nederlandse archeologen. 88 Pagina's met meer dan 100 afbeeldingen in vierkleurendruk en zwart/wit.

Prijs: f 17,50 of 345 F. Voor abonnees: f 15,- of 295 F.

## HET GREVELINGENMEER

### Van estuarium naar zoutwatermeer

De gevolgen van de afsluiting van de Grevelingen voor het milieu, visserij en recreatie.

178 Pagina's met ca. 200 afbeeldingen in vierkleurendruk en zwart/wit.

Prijs: f 27,50 of 545 F. Voor abonnees: f 22,50 of 445 F.

## CHEMIE EN SAMENLEVING

### Van kleurstof tot kunstmest

De wisselwerking tussen wetenschap, chemische industrie en maatschappij, beschreven aan de hand van een historisch voorbeeld. 128 Pagina's met 120 afbeeldingen in vierkleurendruk en zwart/wit.

Prijs: f 32,50 of 625 F. Voor abonnees: f 25,- of 495 F. Bij collectieve bestelling voor het onderwijs (min. 10 ex.): f 25,- of 495 F. Extra: een Handleiding voor studie en onderwijs, met vragen en antwoorden (56 pagina's), f 15,- of 295 F.



*Voor uw bestelling kunt u gebruik maken van de twee in dit nummer gevoegde kaarten. Alle prijzen zijn exclusief verzendkosten. Alle boeken zijn tegen de normale prijs ook verkrijgbaar via de erkende boekhandel.*

## Maastricht/Brussel, januari 1987

Op de Thermen - Postbus 415 - 6200 AK Maastricht  
Tel. 043 - 254044

Voor België: Tervurenlaan 32 - 1040 Brussel  
Tel. (Nederland) 00.31.43.254044



## OPGAVEN &

### PRIJSVRAAG

#### Vragen?

De vragen voor gebruik in het onderwijs horen deze maand bij het artikel *Aanpassingen*. Dit artikel is te vinden op de pagina's 58 tot en met 68 van deze *Natuur & Techniek*. De vragen zijn gemaakt door G. Schep en H. Dirks, docenten biologie aan de Joke Smitscholen-gemeenschap in Amsterdam.

1. Geef een overzicht van de diverse betekenissen die aan het begrip 'aanpassing' worden toegekend.

2. Veel eigenschappen van een levend organisme kunnen als aanpassing opgevat worden. Niettemin moet men hierbij met een aantal beperkingen rekening houden. Noem er een aantal.

3. Welke van de volgende diersoorten is een generalist: kraai, zilverbreeuw, kempahaan, korchoen, huismus?

4. Veel dieren zijn door kunstmatige selectie op zeer speciale eigenschappen (bijvoorbeeld eieren leggen) voor de mens nuttige huisdieren geworden en hebben zich wereldwijd verspreid. Kun je een kip een generalist noemen?

5. Welke historische architectuur heeft de geleedpotigen, bijvoorbeeld insecten, krabben en kreeften, er vermoedelijk van weerhouden om, naast de diergroep met de grootste verspreiding, ook de diergroep te worden met de grootste vertegenwoordigers. De grootste mogelijke diameter van geleedpotigen is 10 tot 14 cm.

6. Waarom is het fruitvliegje *Drosophila melanogaster* bij uitstek geschikt als proefdier bij genetisch onderzoek?

7. Hoe komt het dat mutaties die overduidelijk zeer nadelig zijn voor een soort of populatie, bijvoorbeeld albinisme bij mussen en reeën, toch steeds optreden?

8. Ook voor de mens geldt dat aanpassingen hun voordeel kunnen verliezen bij migratie naar een ander milieu. Kun je daarvan voorbeelden noemen die niet in het artikel worden genoemd?

9. Er wordt gezegd dat het ontbreken van een gen voor de aanmaak van lactase in bepaalde bevolkingsgroepen begrepen kan worden vanuit het perspectief van het ontbreken van de selectiedruk, die uit zou gaan van het drinken van melk. Leg uit wat niet correct is aan de tegenovergestelde redenering dat het ontbreken van het gen voor de aanmaak van lactase binnen een bepaalde bevolkingsgroep de oorzaak is van de afwezigheid van melkveehouderij in die groep.

10. Zou 'mode' bij de mens te vergelijken zijn met mimicry, het

nabootsen door organismen van kenmerken van andere organismen?

Geef argumenten voor en tegen.

11. Hoe kunnen reactienormen erfelijk zijn?

#### Prijsvraag

##### Nieuwe opgave

Een vraagstuk ons verstrekt door de organisatie van de wiskundigolympiade:

Men wil de zijvlakken van een kubus zo kleuren, dat elk vlak egaal gekleurd wordt. Er staan zes kleuren ter beschikking: rood, wit, blauw, geel, oranje, paars. Twee kubuskleuringen worden gelijk genoemd, als de een uit de

**FOTO**  
WEDSTRIJD





ander ontstaat door een verdraaiing van de kubus.

- Hoewel verschillende kubuskleuringen zijn er, waarbij zes kleuren worden gebruikt?
- Hoewel verschillende kubuskleuringen zijn er, waarbij precies vijf kleuren worden gebruikt?

Inzendingen moeten uiterlijk 9 februari op de redactie zijn om mee te dingen naar de ladderprijs en de maandprijs.

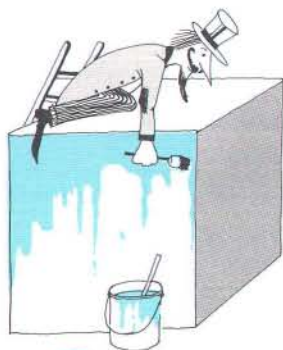
Adres:

Natuur & Techniek

Prijsvraag

Postbus 415

6200 AK Maastricht



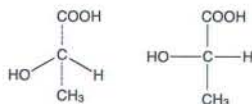
## Uitslag november

De prijsvraag over het melkzuur kende slechts zes inzenders die hem geheel foutloos oplosten. Velen scoorden hun enige fout bij het vaststellen van de tacticiteit van het melkzuurpolymeer. Iedereen die punten haalde is geadmistreerd voor de ladderprijs die vanaf nu maandelijks wordt uitgeloot onder de mensen met het hoogste aantal punten.

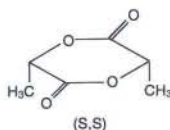
Uit de goede inzendingen is die van Kris en Patricia Poels uit Lubbeek als de prijswinnende geloot. De eerste ladderprijs gaat, na loting, naar Eddy Roelants te Asse in België.

## Oplossing november

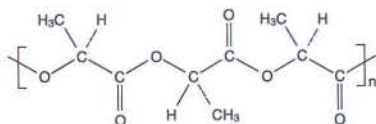
- De ruimtelijke structuur van L(+)-melkzuur en de Fischerprojectie zijn:



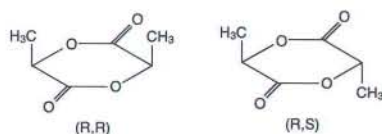
- De ruimtelijke structuur van het dilactide van L(+)-melkzuur:



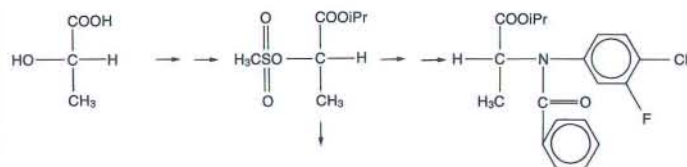
- Het polymeer van L(+)-melkzuur is isotactisch:



- Er zijn drie isomere dilactiden mogelijk bij reactie van racemisch melkzuur ((S,S) staat bij b):



- De synthese van Barmon verloopt als:



## Foto van de maand

'Op een grauwe, druilerige wintermorgen fotografeerde ik dit torenvalk-vrouwje 'roestend' op een aardgasbuis in de Flevopolder.' Dat schrijft Leo Vogelengang uit Rijnsburg bij zijn winnende foto van de maand. Hij krijgt een gratis jaarabonnement op Natuur & Techniek.

Nieuwe inzendingen zijn zeer welkom, te richten aan:  
Natuur & Techniek  
Foto van de Maand  
Postbus 415  
6200 AK Maastricht.



**Prof dr ir H.M.J. van Brussel** ('Robots') is op 24 oktober 1944 in Ieper geboren. Hij studeerde elektrotechniek aan de Katholieke Universiteit in Leuven van 1962 tot 1968. Na zijn promotie aldaar in 1971

verbleef hij twee jaar als docent in Bandung, Indonesië. Vervolgens was hij achtereenvolgens lector, docent en, sinds 1980, gewoon hoogleraar aan de Katholieke Universiteit Leuven.

---

**Dr A.J. van Loon** ('IJstijd') is op 6 mei 1944 in Delft geboren. Hij studeerde geologie aan de Rijksuniversiteit Leiden, waar hij in 1972 promoveerde. Hij was als redacteur en uitgever werkzaam bij diverse uitge-

verijen en wetenschappelijk medewerker aan de Vrije Universiteit in Amsterdam. Momenteel is hij als wetenschappelijk redacteur in dienst van de KEMA in Arnhem.

---

**Dr ir L.A. Bouwman** ('Nematoden') is geboren in Zwolle op 26 september 1941. Hij studeerde in Wageningen plantenveredeling en nematologie. Daarna werkte hij onder andere bij het Max-Planck-Instituut voor plantenveredeling in Keulen. Momenteel is hij verbonden aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in Haren. Hij promoveerde in 1983.

---

**Drs K. Romeyn** ('Nematoden') is op 10 september 1953 in Enschede geboren. Zij studeerde biologie aan de Rijksuniversiteit Groningen van 1972 tot 1979. Van 1980 tot 1985 werkte ze aan de Groningse universiteit aan een onderzoek van de nematodenfauna van de Waddenzee.

---

**Prof dr ir H.A. Das** ('Activeringsanalyse') is geboren in Delft op 18 oktober 1932. Hij studeerde scheikunde in zijn geboortestad van 1950 tot 1956. Hij is sinds 1960 in dienst van het ECN te Petten. Sinds

1975 is hij daarnaast bijzonder hoogleraar radioanalyse aan de Universiteit van Amsterdam en vervult hij een onderwijsopdracht radio-analyse in de geochemie aan de Utrechtse universiteit.

---

**Ing P.L.M. Beems** ('Noodstroom') is geboren in Amsterdam op 29 september 1937. Hij studeerde van 1954 tot 1959 elektrotechniek aan de HTS Muidergrecht in Amsterdam. Vervolgens trad hij in

dienst van Philips, waar hij zich tot 1975 met röntgenanalyse-apparatuur bezighield. Toen ging hij naar HOLEC, waar hij momenteel product specialist uninterruptible power supply is.

---

**Dr J.H. te Velde** ('Aanpassingen') is op 21 maart 1947 in Assen geboren. Hij studeerde biologie aan de Rijksuniversiteit van Utrecht van 1972 tot 1978. Hij is medewerker van de Utrechtse vakgroep populatie- en evolutiebiologie en docent aan de Sociaal-pedagogische Opleidingen Middeloo te Amersfoort. Hij promoveerde in 1985.

---

**Dr A.J. Klarenberg** ('Aanpassingen') is geboren in Haarlem op 25 mei 1954. Van 1972 tot 1980 studeerde hij biologie aan de Vrije Universiteit Amsterdam. Vervolgens trad hij in dienst van de vakgroep populatie- en evolutiebiologie van de Utrechtse universiteit. Op een daar verricht onderzoek is hij vorig jaar gepromoveerd.

---

**Dr K.Th. Eisses** ('Aanpassingen') is in Haren (Gr.) geboren op 20 december 1952. Hij studeerde scheikunde aan de Rijksuniversiteit Groningen. Na zijn afstuderen in 1979 trad hij in dienst van de vakgroep

populatie- en evolutiebiologie van de Utrechtse universiteit. Hij promoveerde in 1986 en werkt momenteel als postdoctoral fellow aan het Biokjemiske Institutt van de Universiteit van Oslo.

---



Bescheidenheid siert elke mens, maar toch wel in het bijzonder de onderzoeker. Zeker in publikaties dient die ongeveer iedereen lof toe te zwaaïen behalve zichzelf. Hoe blij de betrokkene ook is net die Amerikaanse of Groningse collega te vlug af te zijn geweest, het artikel zelf behoort met een 'stiff upper lip' te worden geschreven; het is zelfs eigenlijk niet toegestaan op het belang van het werk te wijzen.

Met het steeds dunner worden van de financiële spoeling komt dat deel van de wetenschappelijke cultuur danig in gedrang. Wie in aanmerking wil komen voor geld – en zelfs wie niet in aanmerking wil komen voor verdere bezuiniging – zal moeten aantonen, of in elk geval de beheerders van de portemonnee moeten laten geloven, dat het ten eerste absoluut ondenkbaar is dat dit onderzoek geen resultaat zal opleveren en dat ten tweede het maar de vraag is of de wereld kan blijven voortbestaan zonder die resultaten.

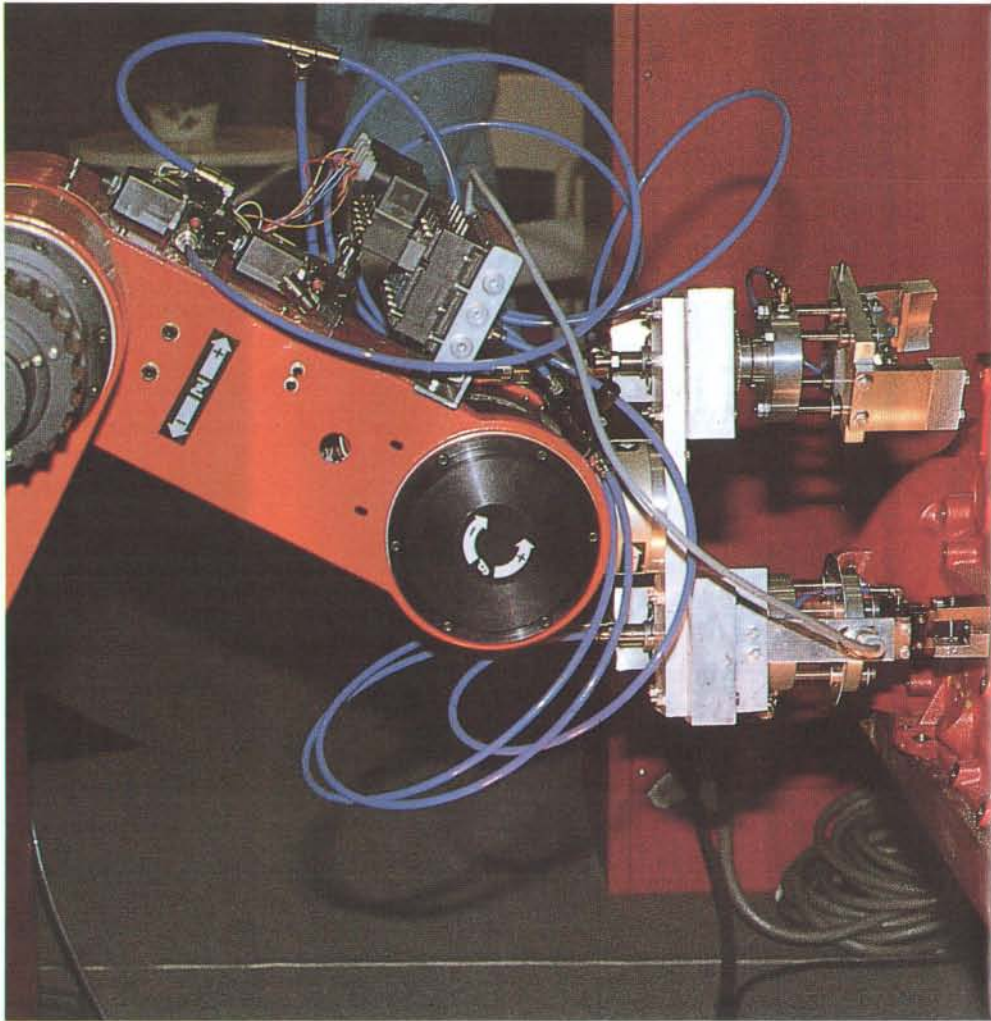
De resultaten zelf worden daar niet beter van. Integendeel. Een waardevolle en stimulerende discussie wordt praktisch uitgesloten, want niemand kan het zich nog veroorloven niet met al bij voorbaat verkochte uitkomsten op de proppen te komen. In deze sfeer hoeft het niemand te verbazen dat nog zeer onlangs een astronoom van wereldfaam kreeg voorgerekend dat hij in een recent onderzoek enkele kapitale fouten had gemaakt, maar dat dit hem niet verhinderde de resultaten van dit onderzoek enige tijd later uitvoerig te presenteren – zonder ook maar de geringste verwijzing naar de kritiek, waarmee hij overigens had ingestemd. Zijn instituut moet ook her en der geld zien te vinden. En het levert een citatie op wanneer de criticus zijn bezwaar in een artikel verwerkt.

Toch is er nog reden genoeg voor bescheidenheid en twijfel. In het ene vak zal dat wel anders liggen dan in het andere, maar geen vakgebied of het kent zijn raadsels – vaak op punten die buitenstaanders helemaal niet als zo ingewikkeld zullen zien.

Een voorbeeld daarvan vinden we in het artikel van A.J. van Loon op pag. 14. Er is ontzettend veel geologisch onderzoek, dat vaak kleine details omvat. IJstijden zijn verschijnselen die zeer duidelijke sporen achterlaten. Er zijn er nogal wat geweest en de jongste is geologisch gezien zeer recent. Toch blijkt het nog buitengewoon moeilijk te zijn ook maar bij benadering te voorspellen wanneer de aarde opnieuw met een ijstijd zal worden geconfronteerd.

Op een heel andere manier plaatst dit ons voor problemen zoals die worden beschreven in het artikel van Te Velde, Eisses en Klarenberg op pag. 58. We kunnen immers gevoegelijk aannemen dat vele thans dichtbevolkte gebieden gedurende de ijstijden praktisch onbewoonbaar waren, en dat alleen al de menselijke bevolking in de betrekkelijk korte tijd sinds de jongste ijstijd een aanzienlijke biologische aanpassing heeft doorgemaakt. Het globale beeld van de evolutie, toevallige mutaties in het DNA die tot betere aanpassing leiden en die daarom via een groter nageslacht selectief werken, mag dan duidelijk zijn, dat zo iets in zo korte tijd tot zulke veranderingen kan leiden blijft duizelingwekkend.



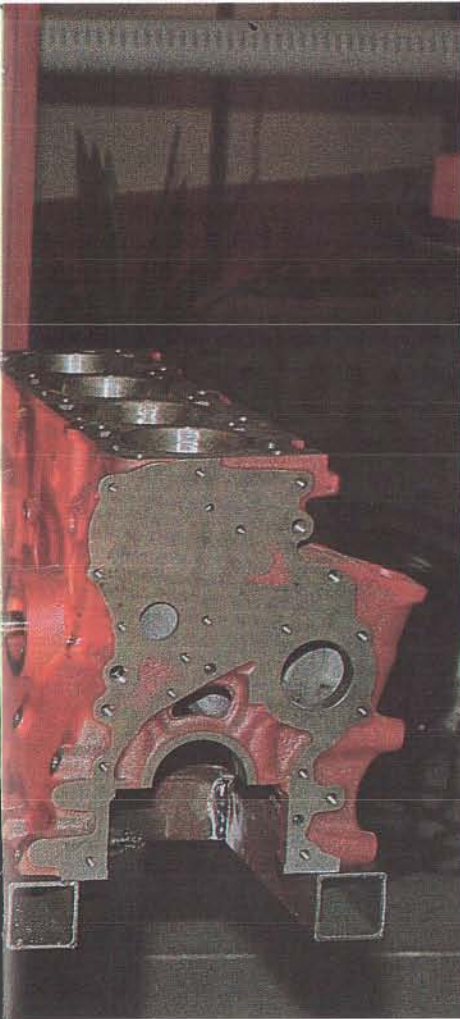


In de industriële montage moeten vaak net passende onderdelen worden gemonteerd. Robots kunnen deze taak moeilijk uitvoeren omdat de bewegingstolerantie van een robot vaak groter is dan de precieze pasvorm van het te monteren onderdeel.

De experimentele robot op de foto is uitgerust met een drukgevoelig 'polsgewricht'. Daardoor kan hij zelf iedere keer zijn beweging zo aanpassen dat de 'insteektaak' nu wel machinaal uitvoerbaar is.



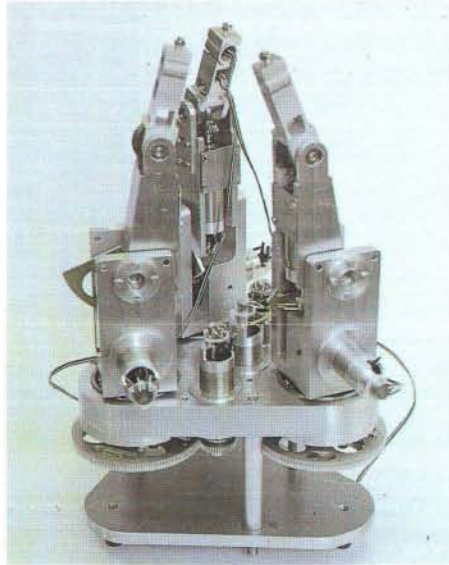
# ROBOTS KRUGEN ZINTUIGEN



De multifunctionele driefvingergriper rechtsboven heeft krachtsensoren zodat voorwerpen van uiteenlopende vorm behoedzaam kunnen worden aangepakt.

**H. van Brussel**

*Afd. Mechanische Productie en Constructie  
KU Leuven*



Robots zijn voortgekomen uit de wereld van kunst en literatuur. Hun eerste optreden vond ruim 60 jaar geleden plaats in een modern toneelstuk. Tegenwoordig zijn deze machines van cruciaal belang voor een toenemend aantal bedrijfstakken. De eerste generatie industriële robots, die nu volop in bedrijf is, bestaat meest uit eenvoudige machines. Ze kunnen hun eigen werkgebied niet overzien en een verandering in hun omgeving leidt vaak tot zinloze bewegingen van de robotarm. Dom, maar waar.

De inspanningen zijn erop gericht robots slimmer te maken. Daartoe moeten ze hun omgeving kunnen waarnemen. Dit artikel beschrijft hoe robots kunnen zien en voelen en dan reageren.



De mens heeft van oudsher gereedschappen vervaardigd met het doel zijn levensvoorwaarden te verbeteren. De primitieve mens gebruikte stenen bijlen en vuurstenen voor zuiver utilitaire doeleinden. Naderhand verving hij zijn eigen spierkracht door die van huisdieren of van slaven, waardoor zijn actieterrein enorm verbreedde. Nog later kwamen de eerste primitieve machines, aangedreven door wind- of waterkracht.

Deze nieuwe vindingen van het menselijk vernuft werden niet alléén aangewend voor zuiver technische doeleinden. Al gauw trachtten de levenloze materie tot 'leven' te brengen. In het Egyptische Alexandrië, drie eeuwen voor het begin van onze jaartelling, kon men taferelen met bewegende poppen bewonderen, aangedreven met thermische, hydraulische of pneumatische energie. Vanaf het einde van de Middeleeuwen duiken ook in onze streken de automaten op, samen met de ontwikkeling van de uurwerkmakerij. Ontwerpers van automatische amusementsstukken waren hooggeacht tot aan de koninklijke hoven toe. Zelfs geleerden van topniveau lieten zich ermee in. Leonardo da Vinci maakte in 1517 een wandelende leeuw die hij demonstreerde voor koning Frans I. In de zeventiende en achttiende eeuw kregen de automaten, onder invloed van de ontwikkeling van de medische wetenschap vaak een menselijk uiterlijk. De beroemde Franse ingenieur Vaucanson maakte drie androïde wezens: een fluitspeler, een eend die kon eten en verteren (!) en een tamboerijnspeeler. Hij was daarmee een echte voorloper van de huidige biomechanica.

De idee van de onvermoeibare superautomaat, die de mens zou kunnen vervangen voor gevaarlijk of vervelend werk, werkte ook op de menselijke fantasie. Figuren als de Golem en Frankenstein waren de eerste geestesprodukten. De term *robot*, ontsproten uit hetzelfde idee, is wat later ontstaan. Het was de science-fictionschrijver avant-la-lettre, de Tsjech K. Capek die in de jaren twintig de eerste robots ten tonele voerde in zijn toneelstuk: 'R.U.R.' (Rossums Universele Robots). Robots waren daar scheppingen van de mens, bedoeld om slavenarbeid te verrichten (*robot* is trouwens het Slavische woord voor *zware arbeid*). Zij vernietigen uiteindelijk echter de mens, helemaal volgens de klassieke vooroorlogse Frankenstein-traditie.

I. Asimov, de bekende science-fictionschrijver, liet vanaf 1940 vredelievende robots opdraven: door technici volgens strenge wetten ontworpen antropomorfe machines die enkel konden uitvoeren wat hun was opgelegd, weliswaar uitgerust met een tamelijk grote vrijheid van handelen, doch steeds volgens een strenge ingebouwde logica.

Wat tegenwoordig schuil gaat onder de naam *industriële robot* staat nog zeer ver af van Asimovs antropomorfe wezens. Het zijn meestal machines die alles behalve menselijke vormen hebben en slechts een zeer primitief autonoom gedrag vertonen. Wat schort eraan?

### De eerste generatie

Voor onze doelstellingen kunnen we een robot definiëren als een vrij programmeerbare machine die in staat is om voorwerpen te manipuleren en daartoe voorzien is van een zekere graad van versatiliteit, flexibiliteit en intelligentie. Een robot is versatiel als hij ingezet kan worden voor een uiteenlopende reeks van taken. Wanneer hij vandaag kruiwagens schildert, moet hij morgen hi-fi-versterkers kunnen monteren. Een flexibele robot kan snel van de ene naar de andere taak overschakelen. Wat een intelligente robot is ligt minder voor de hand. Toch lijkt het logisch een robot intelligent te noemen wanneer hij zich in bepaalde gevallen gedraagt als een mens. Daarvoor hoeft hij er nog niet als een mens uit te zien.

Hoe kan een robot nu een versatiel, flexibel, intelligent gedrag vertonen? Vooreerst moet hij voldoende wendbaar zijn om de voorwerpen die hij moet hanteren en verplaatsen, in de gewenste posities te kunnen brengen. Zes onafhankelijke wijzen van bewegen, ook *vrijheidsgraden* genoemd, zijn in het algemeen voldoende om een voorwerp volgens een willekeurige beweging in een willekeurig punt van de ruimte te brengen; uiteraard binnen het werkingsgebied van de robot. Daarom bezitten de meeste universele robots zes vrijheidsgraden, meestal gegroepeerd als drie robotassen in de mechanische robotstructuur zelf en de drie overige vrijheidsgraden gelokaliseerd in het polsgewricht van de robotarm. Om de wendbaarheid te vergroten worden soms 'overtollige' vrijheidsgraden ingebouwd, bijvoorbeeld voor het spuiten van het inwendige van een autokoetswerk. Vervolgens dient de



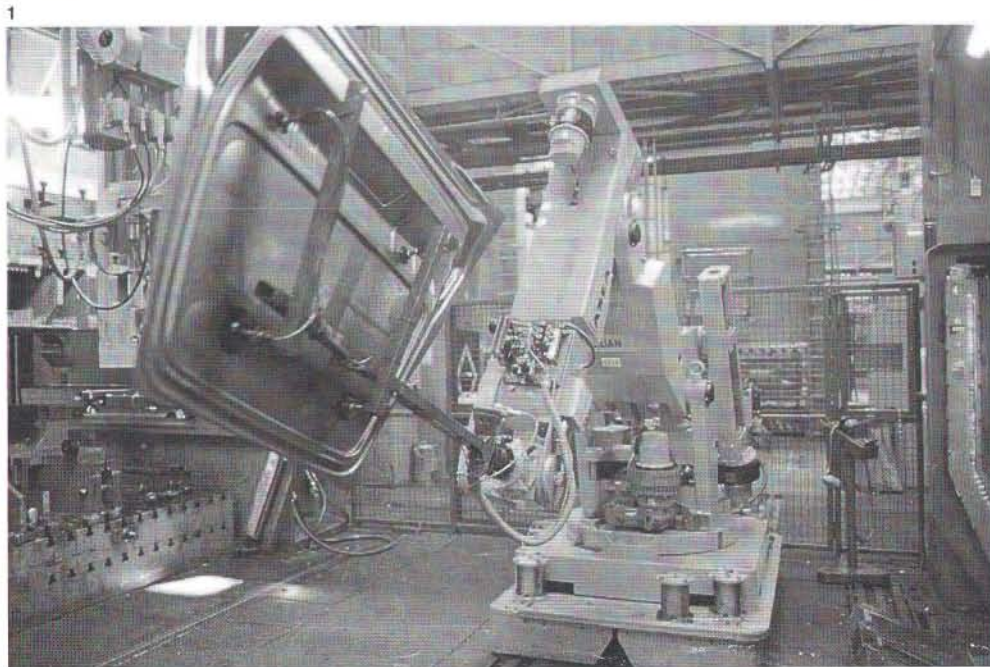
robot te beschikken over een vrij programmeerbaar stuurorgaan, een computer, om de uit te voeren taak via een programma aan de robot mee te delen door bevelen te geven aan de aandrijfmotoren van de verschillende bewegingsassen. Een dergelijke vrij-programmeerbare controlestructuur draagt vooral bij tot de versatiliteit en de flexibiliteit van de robot, niet zozeer tot de intelligentie.

Voor intelligente robots is meer nodig. De tot hertoe beschreven robots kunnen exact uitvoeren waarvoor ze geprogrammeerd zijn. Elke afwijking van de werkelijke toestand leidt echter tot fouten. De robotgrijper behandelt ieder voorwerp verkeerd dat niet precies ligt waar het volgens het programma verondersteld wordt te liggen. Het aan elkaar lassen van twee platen door een voorgeprogrammeerde robot die de lastoorts vasthoudt, bijvoorbeeld, vereist zeer nauwkeurig gepositioneerde platen om te voorkomen dat de lasnaad op een verkeerde plaats terecht komt. Het gebruik van vóórgesprogrammeerde robots, van de eerste generatie zegt men, vereist dus een volledig gestructureerde omgeving. Een bezwaar tegen

deze robots is dat het veelal onmogelijk is om de ruimte eromheen precies te structureren. Verder zijn de positioneer- en herhalingsnauwkeurigheden van de huidige robots meestal onvoldoende om de voorgeprogrammeerde taken succesvol uit te voeren, zelfs met volledig juist gepositioneerde voorwerpen in de omgeving. Een typisch voorbeeld hiervan is de montage van nauw passende onderdelen. De speling tussen een kogellager en zijn boring is meestal veel kleiner dan de positioneer- en herhalingsnauwkeurigheid van de montagerobot.

Geïnspireerd door het voorbeeld bij uitstek, de mens, poogt men nu aan de robots meer autonomie toe te kennen door deze te voorzien van zintuigen, voor machines gebruiken we hiervoor het woord *sensoren*. Deze sensoren 'zien' de afwijkingen ten opzichte van de ideale, voorgeprogrammeerde toestand. De programmatuur vertaalt de gegevens in passende correcties die leiden tot een aangepaste beweging van de robot. De zintuigen kunnen dus alleen controletaken uitvoeren waarvoor ze geprogrammeerd zijn. Het robotprogramma bevat alleen instructies in termen van een ideale

1. De meeste commercieel toegepaste robots zijn nog van het 'pick and place' - type. Ze hebben een gestructureerde werkomgeving nodig. Ze staan ze achter een hek, want voor passerende mensen houden ze niet halt.





omgeving. Men zegt dat de sensoracties *transparant* zijn voor de programmeur. Een dergelijke robot bevat wel enkele intelligente trekjes, maar van echte intelligentie is natuurlijk nog geen sprake.

Welke zintuigen komen in aanmerking voor gebruik bij robots? Van de vijf menselijke zintuigelijke waarnemingen: zien, voelen, horen, smaken en ruiken komen alleen de eerste drie in aanmerking voor onmiddellijk gebruik, enkele exotische toepassingen van smaak- en reuksensoren in de chemische industrie daargelaten. Horende machines en robots worden steeds belangrijker, ze bieden ongekende mogelijkheden. Spraakherkenning als wetenschappelijke discipline wordt druk beoefend. Wij zullen ons hier beperken tot zien en voelen als middel om robots intelligenter te maken.

### Robots die zien

Het verwerken van met TV-camera's opgenomen beelden met behulp van een computer is de laatste 25 jaar intensief bestudeerd. In schril contrast met die reusachtige onderzoeksinspanning staat echter de beperkte omvang



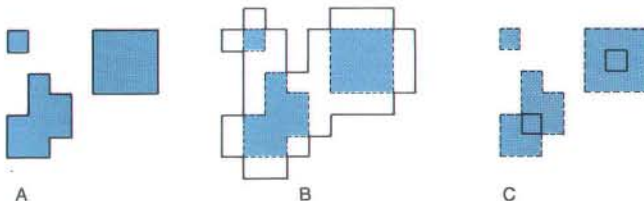
2

## Enkele begrippen over beeldverwerking

Een beeldpunt met coördinaten  $(x,y)$  in het computergeheugen wordt beeldelement of *pixel* (picture element) genoemd. Het getal op de plaats  $(x,y)$  stelt de grijswaarde van het pixel voor. De grijswaarde wordt weergegeven door een aantal bits: in een  $n$ -bits beeld heeft elk punt een grijswaarde tussen 0 en  $2^n - 1$ . Voor robottoepassingen wordt meestal gewerkt met *binair* of zwart-witbeelden. Dit betekent een enorme datareductie ten opzichte van een  $n$ -bitsbeeld. Een binair beeld verkrijgt men door de intensiteit van elk pixel te vergelijken met een vooraf ingestelde, maar eventueel ook aanpasbare drempelwaarde, om

daarna tussen 'zwart' of 'wit' te kiezen. Bewerkingen op beelden kunnen lokaal zijn (pixeloperaties, omgevingsoperaties) of op objecten in het beeld. Een *inversie* is een typische pixeloperatie; zij verwisselt achtergrond en object. Bij omgevingsoperaties hangt de nieuwe waarde van een pixel niet alleen af van de oude waarde ( $n$ ) van dat pixel maar ook van pixels in de omgeving. Een eenvoudige omgevingsoperatie is een bewerking die geïsoleerde object- of achtergrondpixels verwijdert (*pepper and salt removal*). Als alle buren 1 zijn wordt de centrale pixel ook 1, als alle buren 0 zijn wordt de centrale pixel ook 0. Deze

I-1. Een binaire weergave van drie objecten (A). B toont de drie na dilatatie van één pixel-laag. Erosie van een laag levert C. De oorspronkelijke figuur is in B en C gestippeld weergegeven.







2 en 3. De robot als magazijnbediende. Bij Rank-Xerox in Venlo worden de voorraden bij de produktielijn uit het magazijn aangevuld door deze robotkarretjes. Ze worden gestuurd door een centrale computer, vinden zelf hun weg in magazijn en fabriek, maar douwen niet door als ze een obstakel op hun weg tegenkomen. Ze zijn uitgerust met sensoren die hun omgeving waarnemen. Wat op hun weg ligt proberen ze te omzeilen, in een poging toch bij hun doel te komen.



3

bewerking wordt gebruikt voor de verwijdering van ruis. Ook de contouren van objecten kunnen door een omgevingsoperatie gevonden worden. Hiertoe krijgt in het resultaatbeeld de centrale pixel die behoort tot de contour, de waarde 1, als in de omgeving van het oorspronkelijke beeld de centrale pixel 1 is en niet alle buuren gelijk zijn.

Twee omgevingsoperaties zijn verder: *dilatatie* en *erosie*. Bij dilatatie groeit het object één pixellaag, bij erosie krimpt die. Deze bewerkingen worden gebruikt om afstanden in objecten te definiëren. Wanneer een object in  $n$  erosies verdwijnt, dan was de grootste afstandsmaat  $2n$  pixels (afb. I-B). Belangrijk is verder de objectbewerking waarbij het *skelet* wordt vastgesteld. Opeenvolgende erosies verkleinen een object, maar er mogen uiteindelijk geen lijnen verbroken worden. Wat overblijft is het onderling verband in een object. Grijswaarde-beelden zijn veel complexer in hun behandeling. Wij zullen er hier niet verder op ingaan.

van het industrieel gebruik ervan. Dit betekent dat beeldverwerking moeilijk is. Twee factoren bepalen die complexiteit. Allereerst bevat een TV-beeld een enorme hoeveelheid informatie. Eén zwart-wit TV-beeld bevat meerdere miljoenen bits informatie en per seconde wisselt het beeld 25 maal. Deze datavloed overstijgt de geheugencapaciteit van de meeste minicomputers. De tweede moeilijkheid bij automatische beeldverwerking is het gebrek aan methoden die snel en voldoende *robuust* uit deze informatiestroom de essentiële data kunnen halen die belangrijk zijn voor verdere toepassing. De moeilijkheid om tot snelle rekenkundige bewerking te komen ligt voor de hand, gezien de enorme hoeveelheden data. Robuustheid is een minder duidelijk begrip voor de niet-specialist. Een rekenmethode, of *algoritme*, is robuust indien ze werkt in zeer uiteenlopende situaties. De eenvoudige taak 'vind mijn potlood tussen de rommel op mijn werktafel' is een zeer moeilijke opgave. Het menselijk brein heeft niet de minste moeite om dit probleem in een mum van tijd op te lossen, maar is dan ook indrukwekkend goed uitge-



## Een industriële voorwerpherkenner

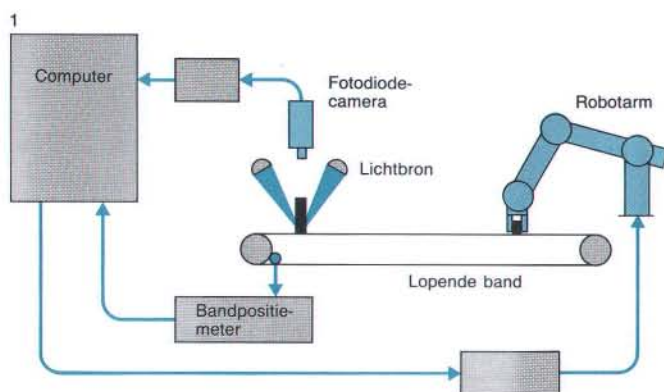
Het Consight systeem, ontwikkeld door GM Research Labs is typisch voor de categorie van systemen die gebruik maken van gestructureerd licht. Het systeem herkent voorwerpen op een bewegende transportband onder normale industriële belichtingsvoorwaarden en kan een robotarm zó sturen dat hij het voorwerp stabiel vastgrijpt.

Het systeem bestaat uit een  $256 \times 1$  fotodiode lijncamera gekoppeld aan een PDP 11/34 mini-computer, verder uit een computerbestuurde robotarm met gripper en een transportband waarvan de positie gemeten wordt. Een lineaire licht-

bundel wordt schuin op de transportband geprojecteerd. Een voorwerp op de band verstoort de projectie van de lijnbundel, zodat aan de randen een discontinuïteit ontstaat. Zo wordt de breedte van het voorwerp bepaald. De plaats waar de lichtlijn op het voorwerp valt is een maat voor de hoogte van het voorwerp. Analyse van de opeenvolgende beelden geeft, samen met informatie over de positie van de band, een volledige beschrijving van de vorm van het voorwerp. Twee lichtbronnen onder verschillende hoeken worden gebruikt om schaduw effecten te vermijden. Uit deze informatie over de vorm worden *beeldbe-*

II-1. Een schematische weergave van het Consight-systeem van General Motors.

II-2. Een beeldherkennings-systeem in een demonstratieopstelling. Op de witte lopende band ligt een zwart voorwerp. Het waargenomen beeld is in negatief weergegeven op het beeldscherm.



rust: een visuele sensor; kennis van begrippen als 'potlood' en een enorm data-reductiealgoritme. Op dit ogenblik is het voor een industrieel visiesysteem vrijwel onmogelijk om in de geschetste omstandigheden het potlood terug te vinden. Een probleem dat veel minder robuuste algoritmen vergt is bijvoorbeeld het bepalen van de positie van een potlood in een beeld waarin alleen potloden te verwachten zijn en waar geen twee beelden van potloden elkaar overlappen. De belangstelling voor computervisie blijft inmiddels groot, niet alleen van industriële zijde maar ook de medische professie toont veel interesse.

Hoe ziet een industrieel visiesysteem eruit? Een volwaardig visiesysteem bevat hardware-elementen: een camera en een computer, maar ook software: de ondersteunende programma-

4. De Seampilot-sensor voor lasnaaddetectie, geconstrueerd door Oldelft, steunt op het triangulatieprincipe. Een laserdiode werpt via een oscillerende spiegel een lichtlijn over de lasnaad. Tweehonderd maal per seconde wordt nagegaan waar de teruggekaatste straal invalt op een CCD-lijncamera. Deze plaats hangt rechtstreeks af van de afstand tussen oppervlak en sensor. Op basis van de informatie wordt de lastoorts over de lasnaad heengeleid.

5. Booglassen met een robot vergt sensoren voor het volgen van de lasnaad. De visiesensoren moeten hier aan hoge eisen voldoen, gezien de belichtingsvoorwaarden en de verwerkingssnelheid.

tuur. In zijn eenvoudigste vorm is de camera niets meer dan een normale vidicon televisiecamera zoals ze klassiek gebruikt worden voor video-opnamen of bewaking. Wanneer het beeld verder en nauwkeurig moet worden bewerkt, hebben vidicons enkele nadelen betref-



*schrijvers* berekend. Een belangrijke beschrijver is de positie van het voorwerp, bepaald door de coördinaten van het zwaartepunt en de oriëntatie van de kleinste traagheidsas. Voorwerpen met meerdere stabiele rustposities vereisen voor elke rustpositie een inwendig model van het voorwerp. Voorwerpen waarvan het silhouet niet éénduidig de positie bepaalt zijn onherkenbaar. Positie-informatie wordt omgezet in controlesignalen van de robot via een coördinatentransformatieprogramma om de gripper in de juiste oriëntatie te brengen. De grijppunten moeten vooraf bepaald worden en behoren tot het inwendig model van het voorwerp.

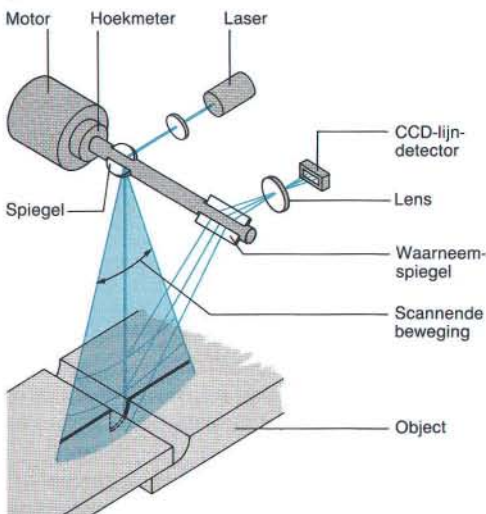
2



fende geometrische vertekening. Deze vertekening kan een fout van 10% veroorzaken op lineaire afmetingen in de hoeken. Recent zijn echter camera's beschikbaar gekomen waarbij het gevoelige element bestaat uit een matrix met lichtgevoelige cellen. Elke cel geeft een stroom af evenredig van grootte met de invallende lichtsterkte. Een elektronische aftaster scant zeer snel de hele matrix van lichtgevoelige cellen. Het 'beeld' verschijnt dan als een rij getallen, naar wens in het digitaal getalstelsel. Elk getal is dan de digitale equivalent van de op de overeenkomende cel invallende lichtsterkte. Om voldoende resolutie in het beeld te krijgen moet het aantal fotogevoelige cellen zeer groot zijn. Typisch zijn bijvoorbeeld matrixen van  $360 \times 512$  cellen. Dergelijke fotodiode-matrixen zijn zeer klein van afmetingen en worden al op één chip geïntegreerd. De afmetingen van de camera's kunnen zo zeer klein gehouden worden. De beperkende factor is nu de optiek van de camera. Daar de fabricage van deze optische chips met zijn zeer vele cellen moeilijk is en er tijdens de productie veel uitval is, zijn camera's op basis van fotogevoelige matrixen veel duurder dan de klassieke vidiconcamera's.

Verschillende methoden van patroonherkenning, gebaseerd op visuele waarneming zijn reeds commercieel beschikbaar voor relatief eenvoudige toepassingen zoals het lokaliseren van tweedimensionale voorwerpen. De

4



5







6

6. Een proefopzet voor een melkrobot die momenteel verder in ontwikkeling is in een samenwerkingsverband tussen een industrie en het Instituut voor Mechanisatie Arbeid en Gebouwen in Wageningen. Deze robot is uitgerust met sensoren die met behulp van ultrageluidreflectie de tepels van de koe lokaliseren. Er bestaan al andere sensoren om zieke en tochtige koeien te herkennen en om de melk op enige eigenschappen te testen. In sociaal opzicht is de melkrobot een belangrijke ontwikkeling. Ondanks alle andere automatisering is de geestelijke en li-

chamelijke belasting van de veehouder nog steeds erg groot. Het melken vraagt zijn aanwezigheid zeven dagen per week, tweemaal per dag. Een melkrobot opent de mogelijkheid de koe zelf te laten bepalen wanneer ze gemolken wil worden. Waarschijnlijk verhoogt dat haar productie.

7. Een voelende robot opent een kastdeur in een ongestructureerde omgeving. De noodzakelijke bewegingen zijn niet voorgeprogrammeerd, maar worden bij deze demonstratie helemaal afgeleid uit de krachtsensoren in

belangrijkste knelpunten zijn op dit ogenblik de stringente belichtingsvoorwaarden en de beperkte verwerkingssnelheid van de beeldcomputers. Het contourvolgen op basis van visuele terugkoppeling is nog beperkt tot eenvoudige beelden gegenereerd met gestructureerd licht, dat is gericht licht met uitsluiting van alle variabele en onverwachte lichtbronnen.

Voor meer complexe toepassingen, zoals de behandeling van driedimensionale beelden, blijven nog heel veel fundamentele problemen onopgelost. Waar ze opgelost zijn is de verwerkingstijd onrealistisch groot om economisch toegepast te kunnen worden in industriële omgevingen. Universele 3D-visiesystemen zullen zeker niet binnen de eerste vijf jaar op de markt verschijnen.

Naast patroonherkenning is patroonverge-

lijking een belangrijke functie van een visiesysteem. Een patroonvergelyker zoekt de overeenkomsten tussen het waargenomen beeld en een standaardbeeld (sjabloon). De sjabloon wordt over het gehele beeld geschoven en voor elke stand wordt een waarde uitgerekend die een maat is voor de overeenkomst, de *goodness of match*. Deze techniek wordt gebruikt voor het herkennen van geschreven karakters, maar ook om bijvoorbeeld de aanwezigheid van alle openingen in een gefreesd onderdeel te controleren.

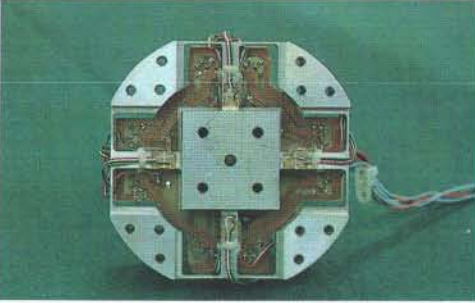
#### *Voelende robots*

Bij delicate montagebewerkingen gebruikt een arbeider niet alleen zijn ogen maar evenzeer, en misschien nog meer, het gevoel in zijn handen. Ook een blinde kan, door betasten, per-





7



8

de robotarm. Een voor mensen zo eenvoudige handeling is voor zo'n vrij werkende robot een ingewikkelde klus.

8. Zes-componentkrachtsensor met ingebouwde signaalverwerkingsschakeling. De krachten op deze bij de KU Leuven ontwikkelde sensor worden gemeten met rekstrookjes. Dat zijn stukjes materiaal die meer of minder stroom doorlaten naar gelang hun vervorming. Gemonteerd in een robotarm kunnen hiermee voelende robots worden verkregen.

fect de vorm van een object beschrijven. Tactiele waarneming van zijn omgeving is voor de mens minstens even belangrijk als het zicht. Net zo kan terugkoppeling van tactiele informatie bij robots belangrijke bijdragen leveren om hun intelligentie te verhogen.

De mogelijkheden van voelsensoren springen dikwijls minder in het oog, maar zijn daarom niet minder belangrijk. Kleine afwijkingen van de nominale positie, veroorzaakt door toleranties en positioneeronnauwkeurigheden, zijn immers een groot probleem bij automatische manipulatie. Het elimineren van deze onzekerheden door het verkleinen van de toegelaten toleranties kan zeer duur zijn en resulteert normalerwijze in een vast automatiseringsstation dat niet meer omschakelbaar is. De menselijke handigheid in dit opzicht is voor een

groot gedeelte gebaseerd op de dikwijls subtiële gevoeligheid van huid en hand. Voelsensoren kunnen in machines diensten bewijzen voor detectie, herkenning en vastgrijpen van willekeurige voorwerpen, terwijl een voelend systeem tamelijk grote positioneerfouten zelf kan overwinnen.

Het probleem van de universele gripper is zeer acuut en heeft nog geen afdoende oplossing gevonden. Pogingen met grippers, bestaande uit drie onafhankelijk bestuurbare buigzame 'vingers' met ingebouwde contactsensoren, zijn een stap in de goede richting, maar nog in de laboratoriumfase.

Een belangrijke toepassing is het assembleren van machineonderdelen. Als gevolg van positionerings- en uitlijnfouten tussen de te assembleren stukken ontstaan krachten in de contactpunten. Deze krachten bevatten informatie die gebruikt kan worden om de posities van de stukken bij te sturen totdat de assemblage succesvol kan verlopen.

Sommige toepassingen, zoals booglassen, afdichten van naden of het verbinden van componenten met lijm, mastic en soldeer vergen dat het gereedschap een bepaalde baan over het af te werken produkt beschrijft. Aftasten van deze baan met een constante kracht met behulp van een krachtsensor kan de noodzakelijkheid van nauwkeurige voorprogrammering van de baan overbodig maken. Op deze wijze worden tegelijk maat- of vormafwijkingen automatisch gecompenseerd.

*Contactsensoren* worden gebruikt om contact te detecteren tussen de robotgripper en de te manipuleren voorwerpen of andere obstakels in de omgeving. Zij kunnen zowel aan de buiten- als aan de binnenzijde van de gripper aangebracht zijn. De uitwendige voelsensoren dienen om voorwerpen te lokaliseren en eventueel te identificeren. Ook om tijdig de robotbeweging te stoppen indien een onverwacht obstakel gedetecteerd wordt. De inwendige sensoren kunnen gebruikt worden om de kracht waarmee een breekbaar voorwerp vastgegrepen wordt te regelen, zodanig dat het niet kapot gedrukt wordt, maar ook dat het niet uit de gripper glijdt. In rechtstreeks verband hiermee staan de zogenaamde slipsensoren die elke beweging van het voorwerp in de gripper detecteren, meestal met behulp van een ingebouwd rolletje dat tegen het voorwerp aangedrukt is en waarvan de rotatie wordt gemeten.



## Krachtterugkoppeling

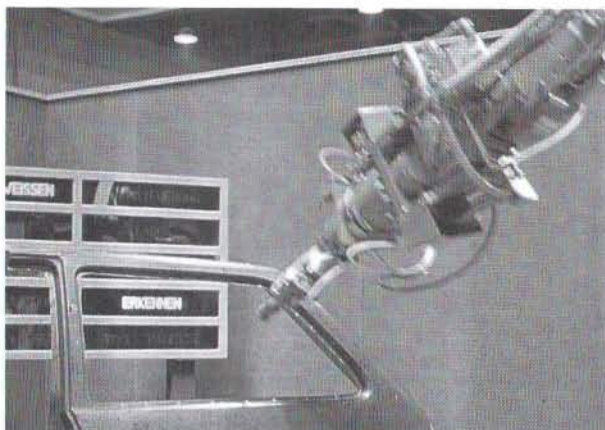
In veel toepassingen zoals assemblage en contourvolgen wenst men de contactkrachten te meten tussen de robot en zijn omgeving. Die kunnen op verschillende wijzen gemeten worden:

- Door meting van de krachten in de aandrijfsystemen van de verschillende vrijheidsgraden van de robot. Dit kan door de stromen te meten in de aandrijfmotoren van rechtstreeks aangedreven robots, of door het drukverschil aan beide zijden van de zuiger te meten bij hydraulische

aandrijvingen. Deze methode van krachtmeting vergt geen afzonderlijke krachtsensor. De meting is echter zeer onrechtstreeks en de herleiding van de krachten naar de contactzone is complex.

- Met behulp van een krachtsensor ingebouwd in de pols van de robotarm. Meerdere configuraties zijn hiervoor ontwikkeld. Een dergelijke sensor meet krachten langs drie loodrechte assen en de momenten rondom deze assen werkend in een precies gedefinieerd herleidingspunt (afb. 7).

III-1. Het aanbrengen van lijm is één van de taken die een contourvolgende robot prima kan uitvoeren. De robot wordt flexibel, hij kan verschillende vormen of posities door elkaar aangeboden krijgen, als hij is uitgerust met een krachtgevoelig polsgewricht.



Twee soorten voelsensoren kunnen onderscheiden worden: *binaire* en *analoge*. Binaire sensoren zijn zeer eenvoudig van conceptie en zijn niets meer dan een schakelaar met veerdruk. Een dergelijke sensor, aangebracht aan de binnenzijde van elke grijpvinger vormt een goede detector om alleen de aanwezigheid van een voorwerp in de gripper te controleren.

Eenvoudige pneumatische binaire voelsensoren zijn luchtuitstroomopeningen die al of niet afgedicht worden door het te grijpen onderdeel. Elementaire vormherkenning is mogelijk door meerdere uitstroomopeningen in matrixvorm op kleine afstand van elkaar op te stellen en vast te stellen welke openingen afgedicht zijn en welke niet. Men verkrijgt zo een binair beeld van het contactoppervlak van het voorwerp met de grijpvingers.

Er wordt tegenwoordig een grote inspanning geleverd voor de ontwikkeling van analoge voelsensoren die de krachtverdeling over een bepaald oppervlak meten, de zogenaamde *kunsthuiden*. Hierbij wordt gebruik gemaakt van drukgevoelige elastomeren of van piezoelektrische polymeren. In sommige ontwikkelingen is de aftastschakeling en de signaalverwerking geïntegreerd in de sensor. Aan het Departement Werktuigkunde van de Katholieke Universiteit Leuven zijn verschillende oppervlakte-voelsensors met hoge resolutie ontwikkeld.

### Afstandsensoren

Toekomstige robots zullen voorzien worden van afstandsensoren, uit veiligheidsoverwegin-



— Door de krachten te meten in de basis waarop het werkstuk ligt. Een dergelijke configuratie heeft het voordeel dat de sensor onbeweeglijk opgesteld is, waardoor hij robuuster kan zijn. Een nadeel is dat de omgeving speciaal aangepast moet worden aan de uit te voeren taak.

De evolutie blijkt te gaan in de richting van het gebruik van polssensoren. Favoriete ontwerpen zijn die waarbij de scheiding van de verschillende krachtcomponenten zo weinig mogelijk rekenwerk vraagt. Een polssensor ontwikkeld op de K.U. Leuven voldoet zeer goed aan deze eis. Ook moeten beveiligingen ingebouwd zijn om mechanische overbelasting te vermijden.

Voorbeelden van industriële opstellingen, waar krachtterugkoppeling ten volle benut wordt, zijn echter schaars en nog slechts in een experimenteel stadium. Afwerkingsoperaties, zoals ontbramen en polijsten, kunnen een belangrijk toepassingsgebied zijn voor programmeerbare manipulators met adaptieve krachtcontrole. Aan de K.U. Leuven en ook in andere onderzoeksinstellingen werden met succes toepassingen voor assemblage, slijpen en contourvolgen uitgewerkt op basis van krachtterugkoppeling.

De sector waar krachtterugkoppeling met het meeste voordeel gebruikt zal kunnen worden is echter zonder twijfel de automatische assemblage.

gen en om de robot autonoom te laten optreden in veranderlijke werkomgevingen.

*Nabijheidsvoelers* werken voor het meten van grote afstanden hoofdzakelijk foto-elektrisch of ultrasoon. Een bron, meestal een lichtgevende diode of geluidsbron, zendt energie uit die al dan niet gereflecteerd wordt door het obstakel. Fotodiodes of microfoons vangen op de voelers de reflectie op. Bewegende voorwerpen kunnen worden gedetecteerd door microgolfsensoren, gebruik makend van de Doppler-verschuiving. Verkeersradars werken volgens dat principe. Infraroodsensoren kunnen bewegingen waarnemen met het Dopplereffect, maar ook eenvoudiger werken door alleen warmtebronnen te detecteren, bijvoorbeeld personen die een gevaarlijke zone binnenkomen.

Robots worden 'intelligenter' doordat ze steeds beter uitgerust kunnen worden met sensoren. Dit artikel heeft dat hopelijk voldoende duidelijk gemaakt. Dit mag echter niet leiden tot vroegtijdig optimisme over de mogelijkheden van de huidige robots. De problemen liggen bij de integratie in de robotbesturing en het programmeren van de robottaak.

Bij de zogenaamde eerste-generatierobots, die nog steeds meer dan 90% van alle gebruikte robots uitmaken, gebeurt het taakprogrammeren door voordoen (*teach-by-doing* of *teach-by-showing*). Dit betekent automatisch dat de omgeving niet mag veranderen. De bedoeling van het gebruik van sensoren is nu juist om vrijwel ogenblikkelijk rekening te kunnen houden met veranderlijke werkvoorwaarden. De programmatuur moet dus toelaten om de sensorinformatie snel in te lezen en op hetzelfde ogenblik te verwerken. We spreken in zo'n geval van *real-time*-besturing.

Laten we hoe dan ook hopen dat de robotica zich verder mag ontwikkelen in de richting van de utopische maatschappij: waarin robots en automatische productiesystemen de economische basis leggen van een maatschappij waar elkeen aristocraat kan zijn, waar robots de plaats innemen van de slaven uit het Oude Griekenland, waar plaats is voor vrije tijd in de echte zin van het woord. Mogen we robots bouwen zoals Asimov ze ziet, niet zoals de Frankenstein van Lady Shelley.

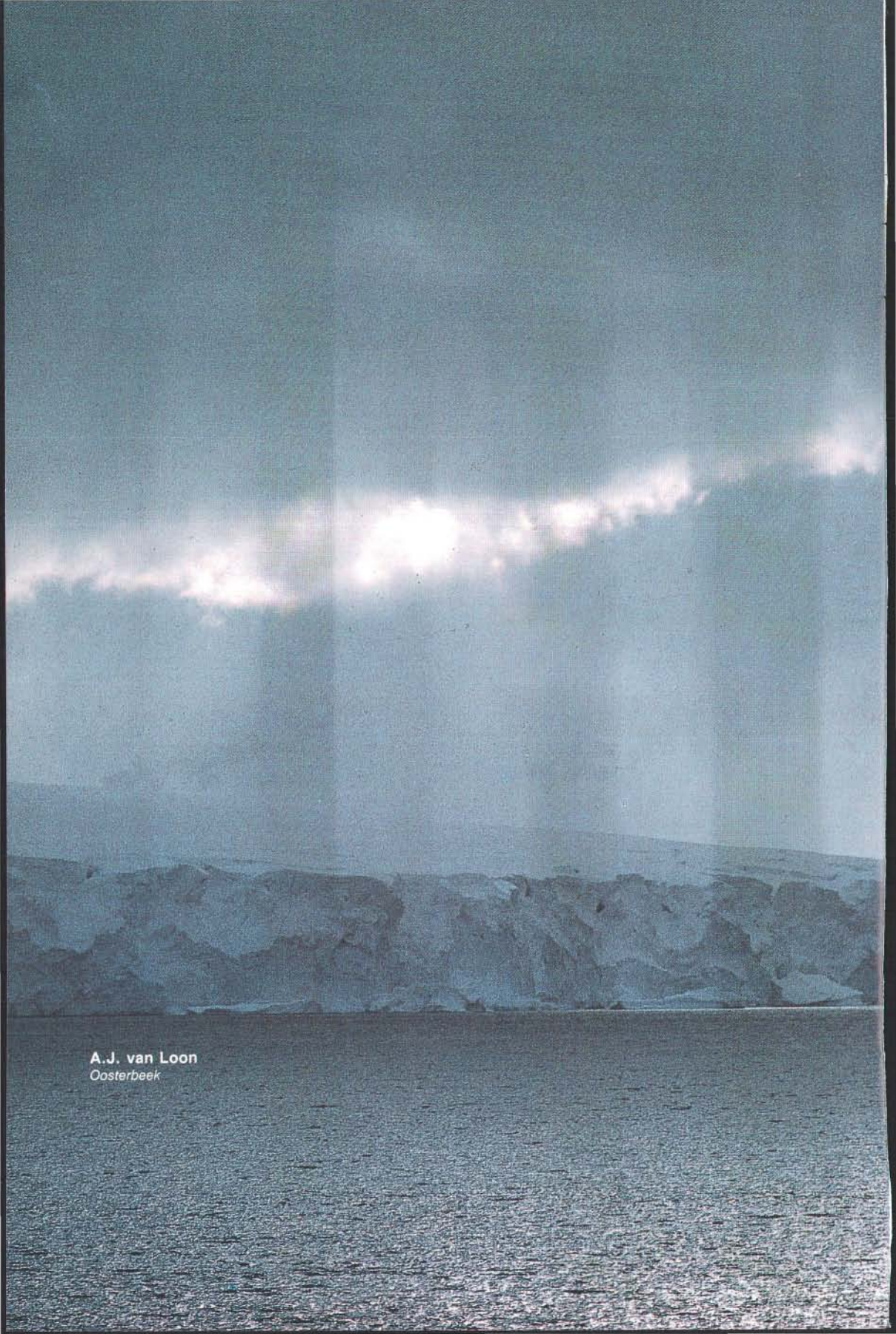
#### Literatuur

De Informatiemaatschappij. Maastricht: Centrale Uitgeverij/Natuur en Techniek, 1983. ISBN 90-70157-35-7.  
Pleeging M. Robots. Veranderingen aan de lopende band. Natuur en Techniek 1981; 49: 8, pag. 624-639.

#### Bronvermelding illustraties

Volvo Car BV, Helmond: pag. 5.  
Rank Xerox, Manufacturing Nederland BV, Venray: pag. 6-7.  
Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Wageningen: pag. 10.  
De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.





A.J. van Loon  
Oosterbeek





# DE KOMENDE IJSTIJD

Het weer vertoont de laatste jaren, zeker in West-Europa, opvallende uitschieters, zoals droge zomers en koude winters. In Friesland werden in 1985 en 1986 voor het eerst sinds lange tijd weer Elfstedentochten gehouden. Is dit een teken dat een nieuwe ijstijd begint? Of wordt toch, zoals sommigen beweren, het klimaat wereldwijd juist warmer door het zogenaamde broeikaseffect? Over de oorzaken van ijstijden is veel bekend, maar kennelijk nog lang niet genoeg.



Bij iedere aanval van strenge vorst verschijnt wel een krantartikel over een komende ijstijd. Op zich is dat merkwaardig, want de temperatuur kent overal op aarde fluctuaties, bijvoorbeeld tussen dag en nacht, of tussen zomer en winter, die veel groter zijn dan de gemiddelde temperatuurdaling tijdens een ijstijd. Het begrip 'ijstijd' heeft echter kennelijk iets magisch. Dat er ijstijden hebben bestaan is pas relatief kort bekend. IJstijden worden geassocieerd met 'romantische' aspecten zoals Neandertalers en mammoets en niemand kan met redelijke zekerheid voorspellen wanneer er een nieuwe ijstijd zal optreden.

Wanneer is er trouwens sprake van een echte ijstijd? Uit tal van waarnemingen is bekend dat in vroeger tijden grote landijskappen bestonden. Ruim 100 000 jaar geleden kwam die ijskap, vanuit het noorden, zelfs tot halverwege Nederland: de lijn Haarlem-Nijmegen vormde ruwweg de grens (afb. 2). De invloed van die grote ijsmassa was nog veel verder weg te merken: op de koude, vegetatieloze vlaktes voor het ijs waaiden zand en slib op; dit kwam soms pas honderden kilometers zuidelijker weer tot rust. Niemand bestrijdt dat er toen

sprake was van een ijstijd. Maar wanneer begon en eindigde die?

Ook nu zijn grote delen van de aarde continu met ijs bedekt: zeeijs in het noordelijk poolgebied en landijs rond de zuidpool. Toch leven we nu niet in een ijstijd. Integendeel, de huidige tijd is relatief warm. Het lijkt daarom het meest praktisch om als ijstijden die perioden te beschouwen waarin veel grotere landgebieden dan thans met ijs bedekt waren en dat langdurig bleven.

Zeker bij een dergelijke 'definitie' is het begin en het einde van een ijstijd moeilijk nauwkeurig te bepalen. Is er in Honduras of Tunesië iets merkbaar van ijsuitbreiding in Canada of Lapland? Veel interessanter dan het beantwoorden van dergelijke academische vragen is een inzicht in de mechanismen die een rol spelen bij het optreden van ijstijden. Het is echter niet eenvoudig om die mechanismen op te sporen, juist omdat er thans geen ijstijd is. Daarom moeten sporen uit het geologische verleden worden geanalyseerd en gekoppeld aan theoretische modellen. Die aanpak heeft inderdaad succes opgeleverd, al blijft onbekend of er een nieuwe ijstijd komt.

1



1. Charles Lyell. Deze grote geoloog kon er maar met moeite van overtuigd worden dat er ijstijden hebben bestaan.

2



2. Europa onder het ijs. In deze kaart is de maximale uitbreiding van het landijs in het IJstijdvak ingetekend. Bovendien is aangegeven hoe de zeespiegel varieert tussen een glaciaal (donker) en een interglaciaal (licht).





3

3. Extreme sneeuwval. Begin 1979 werd Nederland getroffen door zware sneeuwbuien. Vooral het noorden kreeg het zwaar te verduren. Hele dorpen raakten van de buitenwereld afgesloten. Voorboden van een nieuwe ijstijd?

### Sporen uit het verleden

De eerste sporen van vroegere vergletsjerin- gen, uitbreiding van het landijs, werden in het begin van de 19e eeuw opgemerkt door Pierre Perraudin. In het Val de Bagnes in de Alpen vond hij krassen in harde rotsen. Dat bracht hem tot de overtuiging dat gletsjers in het verleden het hele Val de Bagnes vulden. Hij deed zijn opvattingen mee aan Ignace Venetz, een weg- en waterbouwkundig ingenieur die in de omgeving werkte. Venetz raakte overtuigd, mede door waarnemingen van opeenhopingen van puin, morenes, ver beneden het bereik van de Flesch-gletsjer. In 1829 gaf hij een lezing voor het Zwitsers Genootschap van Natuurwetenschappen, waarin hij melding maakte van grote ijsuitbreidingen in de Alpen en over andere delen van Europa.

Venetz' theorie werd aanvankelijk genegeerd of zelfs tegengesproken, vooral omdat de meeste geologen meer geloof hechtten aan een verklaring die inmiddels door de beroemde Lyell was opgesteld. Lyell verklaarde het voorkomen van grote stenen, die nu zwerfstenen worden genoemd, op plaatsen waar ze moeilijk door rivieren konden zijn neergelegd met een ijsschotstheorie. Tijdens grote overstromingen (de zondvloed?) zouden de stenen uit smeltende ijsschotsen naar beneden zijn gevallen. Maar onder het gehoor van Venetz zat ook de geoloog Louis Agassiz.

Agassiz herkende het verband tussen gletsjers, morenes en zwerfstenen die inmiddels

zowel uit Noord-Europa als uit het Alpengebied bekend waren. In zijn enthousiasme trok hij verstrekkende conclusies: er moest een ijsschap van de Noordpool tot het Alpengebied bestaan hebben, met uiteraard gigantische gevolgen: "De vorming van deze enorme ijsschappen moet geleid hebben tot de vernietiging van al het leven nabij het aardoppervlak. De bodem van Europa, daarvoor bedekt met een tropische vegetatie en bewoond door kudde grote olifanten, enorme nijlpaarden en gigantische roofdieren, werd begraven onder een uitgestrekte ijslaag die alle vlakten, meren, zeeën en hoogvlakten bedekte. De stilte van de dood volgde (...) Noordenwinden floten door de gletsjerspleten zodra die zich openden aan het oppervlak van die enorme ijszee".

De meeste geologen bleven echter de verschijnselen die Agassiz met een ijstijd verklaarde, met de zondvloed in verband brengen. Agassiz gaf niet op en wist invloedrijke collega's, Roderick Impey Murchison en William Buckland, te overtuigen van zijn gelijk. Hij kreeg steeds meer aanhang en op advies van de inmiddels ook overtuigde Lyell vertrok hij in 1846 naar Amerika voor een bezoek. Hij keerde niet meer terug, maar bij zijn dood in 1873 was de ijstijdtheorie zowel in Europa als in Amerika volledig aanvaard.

Aan het bestaan van vroegere ijstijden wordt nu niet meer getwijfeld. Landschapsvormen als U-vormige dalen, glaciële schou- ders, morenes en stuwwallen (Veluwe) vormen thans duidelijke aanwijzingen tot waar het ijs



reikte. De invloed van de koude vindt men ook terug in 'fossiele' vorstspelen, cryoturbate (door vorst veroorzaakte) verstoringen van laagpakketten en dergelijke.

### Vroegere ijstijden

Aanvankelijk bestond het idee dat er in de geologische geschiedenis éénmaal een ijstijd was opgetreden. Onderzoek in Amerika door Howard Stansbury, later bevestigd door de Schot Archibald Geikie, wees er echter op dat er diverse vergletsjeringsfasen (glacialen) moesten zijn opgetreden, gescheiden door warmere tijdsintervallen (interglacialen). Uit klassiek onderzoek in de Alpen, door Albrecht Penck en Eduard Brückner, werd aannemelijk dat er vier glacialen waren geweest. Inmiddels is bekend dat de situatie nog veel gecompliceerder is.

Er zijn in de loop der tijd verscheidene ijstijdvakken geweest. Het best bekend zijn de vergletsjeringen uit het Pleistoceen – ook wel, om historische redenen, IJstijdvak genoemd. Het Pleistoceen eindigde pas tienduizend jaar geleden en begon ruim twee miljoen jaar eerder. In de tussenliggende periode zijn er

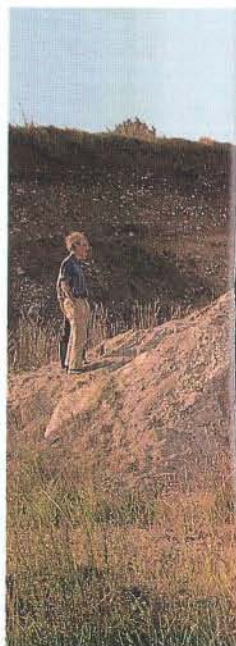
minstens zeven glacialen geweest, mogelijk meer. De glacialen duurden langer dan de interglacialen. Daarom kan niet gesteld worden dat het IJstijdvak nu is afgelopen; wellicht leven we thans in een interglaciaal.

Het daaraan voorafgaande ijstijdvak vond plaats tijdens het Permo-Carboon, circa 200 miljoen jaar geleden. Inmiddels is bekend dat ook toen een afwisseling optrad van (een nog onbekend aantal) glacialen en interglacialen, die samen een periode besloegen van zo'n 50 miljoen jaar, wat dus vele malen langer is dan het Pleistoceen. Dit maakt het des te waarschijnlijker dat we thans in een interglaciaal leven. Nog 200 miljoen jaar eerder was er, in het Ordovicium, weer een ijstijdvak. De duur daarvan is niet goed bekend, maar waarschijnlijk bestond er wel een afwisseling van glacialen en interglacialen. Opnieuw 200 miljoen jaar daarvoor, op het eind van het Cryptozoïcum, moet eveneens een ijstijdvak hebben bestaan. Tilliet-formaties uit die tijd, in wezen versteende morenes, zijn soms wel een kilometer dik. Nog oudere ijstijdvakken zijn onzeker, al zijn er wel structuren uit nog oudere gesteenteformaties bekend die wijzen op zeer koude perioden.

4



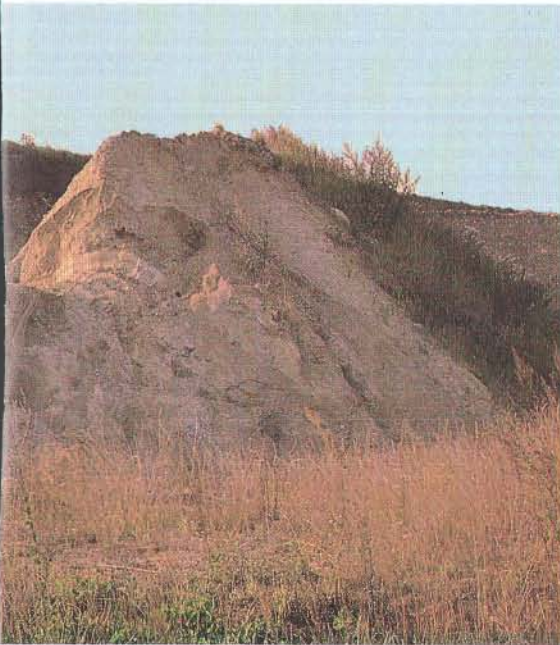
5







6



4. Zwerfstenen bij Urk. De zwerfstenen zijn door de golfwerking van het water van de vroegere Zuiderzee vrijgemaakt uit een keilempakket.

5. Een kleidiapiertje op Funen (Denemarken). Vette klei wordt door het gewicht van erboven liggende lagen plastisch en kan in de vorm van een zuil of koepel omhoog gestuwd worden. Deze diapiertjes moeten in de laatste ijstijd zijn ontstaan aan de rand van de ijskap.

6. De 'kleine ijstijd'. In de 17e eeuw was sprake van een kleine ijstijd. De gemiddelde temperaturen waren iets lager dan nu en er waren vele strenge winters. De schilderkunst van die tijd kent vele winterlandschappen, zoals dit van Cornelis van den Berghe.

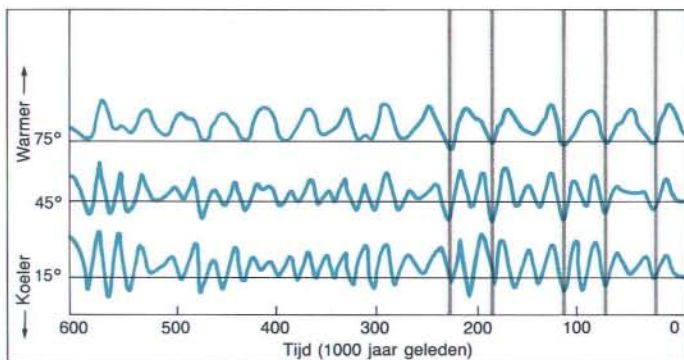
### Speurtocht naar de oorzaken

Er is in de loop der tijd veel gespeculeerd over de oorzaak van ijstijden. Hoewel een nauwkeurig en logisch verband moeilijk bleek vast te stellen, is er lang gedacht aan een verband met perioden van grote gebergtevorming. Het blijkt namelijk dat ijstijdvakken en de – langere – perioden van grote gebergtevorming min of meer samenvallen. Een verklaring zou



7. De curve van Milankovic. Deze toont de veranderende stralingsintensiteit in de zomer op 15, 45 en 75 graden noorderbreedte. Het effect van de 22 000 jarige cycli is goed zichtbaar.

8. De baan van de aarde rond de zon is niet rond, maar elliptisch, met de zon in een der brandpunten. Van invloed op het klimaat zijn de vorm van de aardbaan, de grootte daarvan, het feit dat de aardas onder een hoek met de aardbaan staat en dat deze hoek ook varieert.



7

kunnen zijn dat in perioden van gebergtevorming en verhevigd vulkanisme zoveel stof in de atmosfeer terechtkomt dat de zonnestraling in belangrijke mate wordt weggevangen.

Een probleem bij deze verklaring is dat de koppeling van de gebergtevorming met de ijs-tijden wel erg ruw is. Bovendien levert dit geen goede verklaring voor de afwisseling van glacialen en interglacialen: in de laatste twee miljoen jaar zijn bijvoorbeeld geen grote fluctuaties in vulkanische activiteit opgetreden, terwijl er wel minstens zeven glacialen en interglacialen waren. Daarom wordt nu aangenomen dat het verband toevallig is, al kan het verhoogde stofgehalte in de atmosfeer de invloed van de ijs-tijden wel versterkt hebben.

Een ander aanknopingspunt biedt het periodieke optreden eens per 200 miljoen jaar. Bij een dergelijk lange periode kan nauwelijks meer gedacht worden aan aardse oorzaken. Het ligt daarom voor de hand om aan te nemen dat er een astronomische oorzaak is, bijvoorbeeld de aanwezigheid van een zonnearmte-absorberende gaswolk in de interstellaire ruimte die eens per 200 miljoen jaar ons zonnestelsel passeert. Dit facet, dat waarschijnlijk inderdaad een rol speelt, is prachtig in overeenstemming met de resultaten van ouder speurwerk naar de oorzaak, dat leidde tot de astronomische theorie.

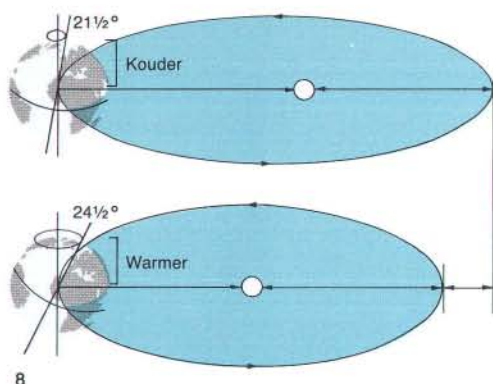
### De astronomische theorie

In 1842 opperde de Franse wiskundige Alphonse Adhémar dat de beweging van de aarde rond de zon een rol zou kunnen spelen en hij berekende een cyclus van 22 000 jaar. In

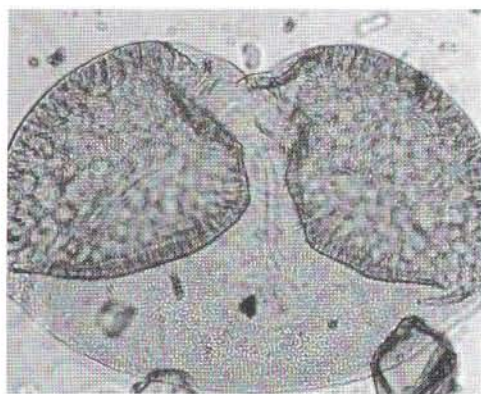
1852 toonde Alexander von Humboldt echter al aan dat er een principiële fout zat in deze berekeningen. Het werk van Adhémar werd echter ook gelezen door de Schot James Croll die de berekeningen verfijnde en in 1875 een cyclus van 11 000 jaar poneerde. Dit werk werd door diverse onderzoekers voortgezet. Milutin Milankovic, een astronoom uit Joegoslavië, onderkende het belang van de reeds door Adhémar berekende drie bewegingen van de aarde: de verplaatsing van het lentepunt langs de baan van de aarde om de zon, de verandering van de excentriciteit van deze baan en een kleine schommeling van de aardas ten opzichte van de aardbaan (afb. 8). Het lentepunt is de plaats op de evenaar waar de zon op 21 maart de evenaar passeert.

Milankovic kwam op het idee om voor bepaalde breedtegraden op aarde (onder andere de 55e breedtegraad NB) uit te rekenen hoe de hoeveelheid zonneschijn varieerde als gevolg van de bewegingen van de aarde. Die berekeningen herhaalde hij voor tal van tijdstippen in het Pleistoceen. Het was een gigantisch karwei waaraan hij jarenlang werkte. Uiteindelijk kreeg hij echter een curve, *de curve van Milankovic*, die hij in 1920 publiceerde (afb. 7). De bekende Duitse klimatoloog Wladimir Köppen ontdekte nog enkele onnauwkeurigheden in de curve, die hij samen met zijn schoonzoon Alfred Wegener – later beroemd vanwege zijn theorie over de continentverschuiving – en Milankovic verfijnde. Het resultaat was verbluffend: de curve, in 1930 gepubliceerd in Köppens fameuze 'Handbuch der Klimatologie', vertoonde zeer grote overeenkomst met de temperatuurcurve die Penck en Brückner



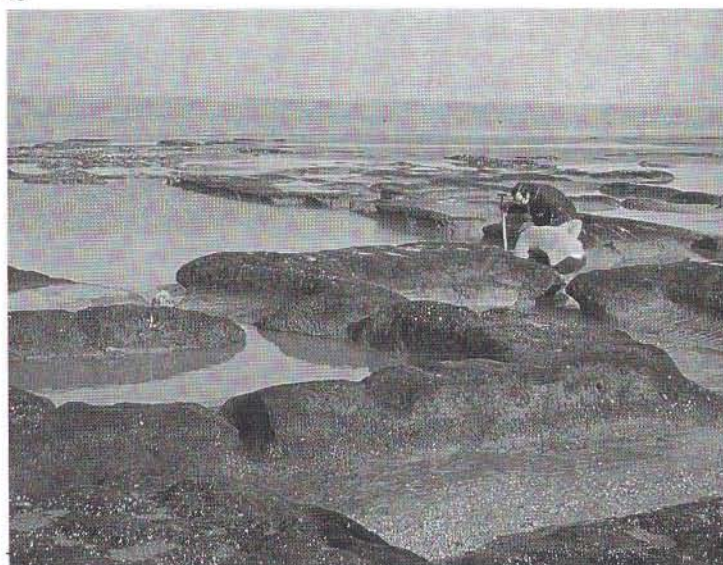


8



9

10



vijftien jaar eerder hadden opgesteld aan de hand van de afwisseling van glacialen en interglacialen in de Alpen. In de jaren 1930-1940 raakten dan ook vrijwel alle geologen in Europa overtuigd van de juistheid van Milankovic' theorie.

### Nieuwe problemen

Zoals dat met veel elegante theorieën gaat, kwamen er na verloop van tijd toch serieuze tegenargumenten. Zo vond de Duitse geoloog Ingo Schaefer 'warme' schelpen in terrasafzettingen die tijdens een 'koude' tijd gevormd moesten zijn. Soortgelijke problemen ontstonden er toen met de  $^{14}\text{C}$ -methode allerlei organische resten nauwkeurig konden worden gedateerd. Aanvankelijk werd zo een enkele 'warme' veenlaag in Illinois gedateerd op 25 000 jaar, duidelijk binnen het laatste glaciaal. Spoedig kwamen er veel meer van dat soort vondsten, zodat het geloof in Milankovic' curve sterk werd ondermijnd.

Organisch materiaal vindt men onder andere in veenlagen. In de loop van het Pleistoceen ontwikkelden zich talrijke veenlagen in lage kustgebieden. Omdat in een ijstijd veel water aan zee wordt onttrokken door de dikke landijskappen, veranderen de kustlijnen en komen ook de veenlagen op verschillende niveaus

9. 'Koude' pollenkorrels uit een 'warme' laag. Deze microscopische opname toont pollenkorrels van een sparsesoort, die werden gevonden in een afzetting gevormd tijdens het Børrup-interstadiaal, een relatief warm interval tijdens de laatste ijstijd, circa 65 000 jaar geleden.

10. Zeespiegelstijging. Voor de kust van Oostende valt bij eb een veengebied droog, waarin gedurende de Middeleeuwen in rechthoekige percelen veen werd gewonnen. Dit lijkt te duiden op een stijging van de zeespiegel in de eeuwen daarna.



voor. Vanwege het verband met de zeespiegelstand, en dus ook de temperatuur, is de hoogteligging van de veenlagen daarom een belangrijk gegeven. Al spoedig bleek dat de zeespiegelstand kennelijk meer fluctuaties had vertoond dan de curve van Milankovic aangaf. Dat wees erop dat er sommige temperatuurfluctuaties zo snel optraden dat ze mogelijk aan de berekeningen van Milankovic waren ontsnapt: Milankovic kon immers slechts de situatie op een beperkt aantal tijdstippen berekenen.

Hier bleek inderdaad de sleutel te liggen. Dat werd tenslotte onomstotelijk aangetoond toen het onderzoek van stuifmeelkorrels (pollen) eenmaal goed op gang kwam. Bij iedere temperatuur hoort immers een bepaalde vegetatie en temperatuurwijzigingen uiteten zich in een veranderend begroeiingspatroon en dus in wisselende verhoudingen van pollen. Op die manier is, zeker voor de laatste ijstijden van het Pleistoceen, een uiterst gedetailleerd inzicht ontstaan in de temperatuurfluctuaties. Daarmee kon ook de — ruwe — juistheid van de curve van Milankovic weer worden bevestigd.

Een soortgelijke bevestiging kwam voort uit diepzeeeonderzoek: naar de bodem gezonken schelpdierdijes gaven een vergelijkbare afwisseling van koude en warme fasen te zien.

### Thermische isolatie

Eén principieel probleem was met de gegevens van pollen en schelpdieren echter nog niet opgelost. Wanneer Milankovic zijn curve tot in het verste geologische verleden zou hebben doorgerekend, dan zou daaruit namelijk zijn gebleken dat er door de hele geologische geschiedenis heen ijstijden zouden moeten zijn opgetreden. Dat is, gezien de veel langere perioden waarin geen grote vergletsjeringen optraden, echter niet het geval. Een ijstijd is uitzondering, geen regel.

Daarom wordt thans aangenomen dat de curve van Milankovic weliswaar beslissend is voor de afwisseling van de warmere en koudere tijdsintervallen, maar dat voor het optreden van echte ijstijden nog een extra factor aanwezig moet zijn. Die factor is niet met zekerheid bekend, maar waarschijnlijk speelt de thermische isolatie van de poolgebieden een doorslaggevende rol. Daarmee wordt bedoeld dat de relatieve overvloed aan ontvangen zonnewarmte in de tropische gebieden niet naar de veel minder warmte ontvangende poolstreken wordt afgevoerd. Zulk warmtetransport vindt voornamelijk plaats via een stelsel van zeestromen: koude uit de poolgebieden naar de tropen en warme stromen in omgekeerde richting. Wanneer die stromingen minder gemakkelijk





kunnen plaatsvinden, zal dat leiden tot gemiddeld iets hogere temperaturen in de tropen en iets lagere temperaturen aan de polen, waardoor zich geleidelijk grotere ijskappen kunnen vormen. Die kaatsen dan bovendien meer zonlicht terug, zodat nog minder directe warmte wordt opgenomen en de temperatuur nog verder daalt.

Inderdaad begon, relatief kort voor het begin van het IJstijdvak, een thermische isolatie van de poolgebieden. Interessant is nu dat bekend is dat ook tijdens het permocarbonische ijstijdvak een vergelijkbare thermische isolatie van de polen optrad. In hoeverre dit verschijnsel ook optrad tijdens nog oudere ijstijdvakken, heeft men bij gebrek aan gegevens (nog?) niet kunnen achterhalen.

Is het toeval dat er steeds om de 200 miljoen jaar een thermische isolatie van de polen optreedt? Of speelt wellicht ook de baan van het zonnestelsel door de met gaswolken gevulde interstellaire ruimte een rol? Voorlopig lijkt er nog geen antwoord op deze vraag mogelijk.

### Een nieuwe ijstijd

Er is pas sprake van wetenschap wanneer men wetmatigheden heeft ontdekt met een voorspellende waarde. Ten aanzien van ijstijden in het verleden zijn er zeker tal van wetmatighe-

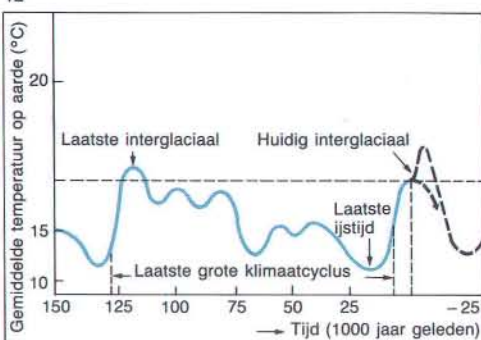
den ontdekt. Toch weet niemand zeker of er een nieuwe ijstijd zal komen, ook al twijfelen de deskundigen daar niet aan. Er is immers nog steeds sprake van een thermische isolatie van de polen, en bovendien duurde de afwisseling van glacialen en interglacialen in het verre geologische verleden altijd veel langer dan de twee miljoen jaar van het Pleistoceen.

Wanneer een nieuwe ijstijd zal optreden is echter een punt van grote onenigheid. In het Pleistoceen duurden de interglacialen nooit langer dan 12 000 jaar. De laatste ijstijd eindigde circa 10 000 jaar geleden, zodat er wellicht al binnen 2000 jaar een nieuwe ijstijd zal beginnen. Sommige meteorologen voorspellen zelfs het begin van een nieuwe ijstijd binnen enkele eeuwen. Volgens de curve van Milankovic kan het echter nog wel 10 000-20 000 jaar duren voordat er weer een echt grote vergletsjeringsfase zal optreden.

Nog gecompliceerder wordt de zaak doordat de mens thans het klimaat beïnvloedt. Vooral het verstoken op grote schaal van fossiele brandstoffen leidt tot een aanzienlijke stijging van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer. Door fysische oorzaken, die hier buiten beschouwing blijven, zou hierdoor een broeikas effect kunnen optreden, waardoor de aarde juist warmer wordt. Een bijverschijnsel zou zijn het afsmelten van grote ijsmassa's aan de polen, waardoor de zeespiegel enkele meters stijgt.

Of het broeikas effect werkelijk optreedt, is nog onbekend. Of er zonder menselijk ingrijpen spoedig een nieuwe ijstijd zou optreden, is omstreden (afb. 12). De combinatie van deze twee onzekerheden maakt dat we een volgende vergletsjering alleen kunnen omschrijven als 'de onbekende ijstijd'.

12



11. Romantiek van de ijstijd. Menig artiest heeft zich een voorstelling trachten te maken van het landschap tijdens een ijstijd. Ook voor de Duitser Kranz waren mammoets daar een onmisbaar onderdeel van.

12. Het klimaat in de komende 25 000 jaar. Volgens de astronomische theorie treedt de komende eeuwen een afkoeling op, resulterend in een nieuwe ijstijd over pak weg 23 000 jaar. Door het broeikas effect kan de afkoeling nog zo'n 2000 jaar opgehouden worden.

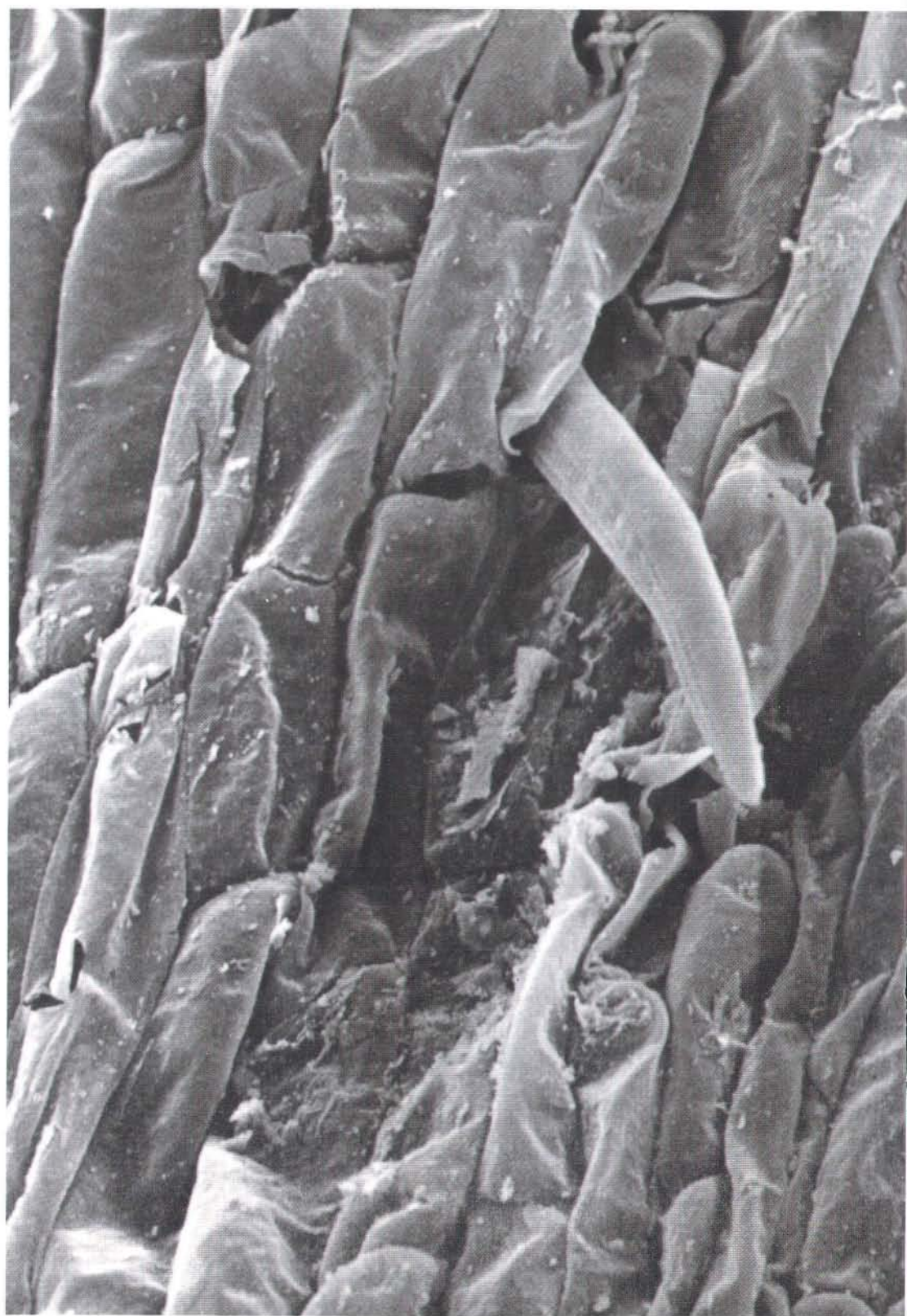
### Literatuur

- Brouwer A. IJstijden. Grote Spectrum Encyclopedie, Utrecht: Het Spectrum, 1979; 20: 246-249.  
 Imbrie J, Palmer-Imbrie K. De ijstijd. Antwerpen/Amsterdam: Standaard Wetenschappelijke Uitgeverij, 1980.  
 Loon AJ van, Gans W de, Schoute JFTh Het ontstaan van de delta. In: Dit is je wereld, hoofdstuk De Lage Landen. Utrecht: Het Spectrum, 1976; 1404-1405.  
 Zagwijn, WH De palaeogeografische ontwikkeling van Nederland in de laatste drie miljoen jaar. Geografisch Tijdschrift 1975; IX: 181-201.

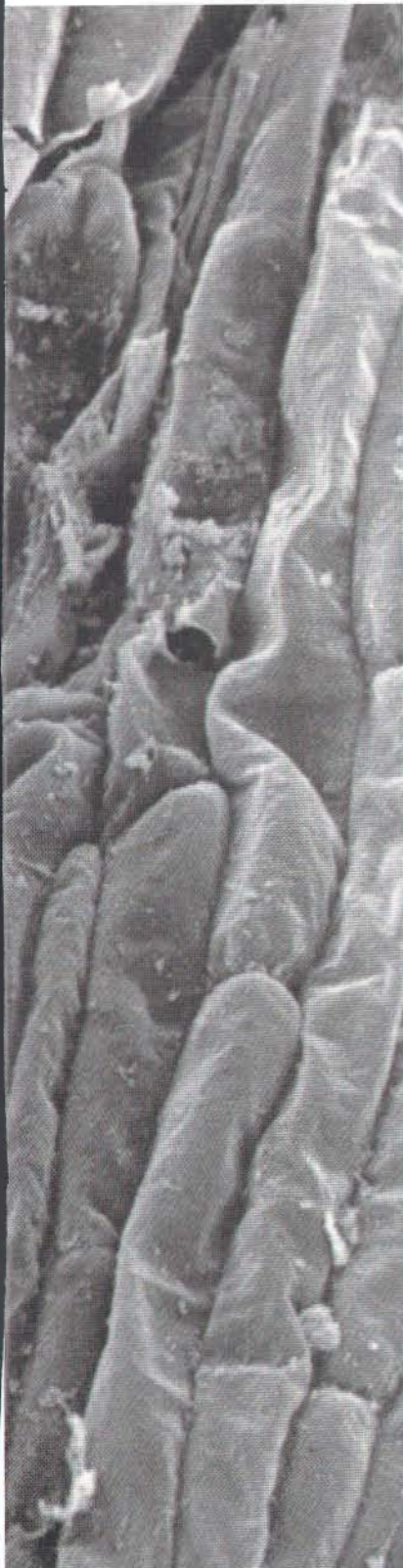
### Bronvermelding illustraties

- Ferdie Kies/EFG, Groningen: 3.  
 Mauritshuis, Den Haag: 6.  
 The Mansell Collection, Londen: 11.









**L. Bouwman**

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid  
Haren (Gr.)

**K. Romeyn**

Annen

---

# NEMATODEN

---

## Overal, onzichtbaar en soms gevaarlijk

“Nematoden komen voor in woestijnen en in de bodem van meren, rivieren, hete bronnen en de poolzee. Zij worden levend aangetroffen in het zuidpoolijs en op enorme diepte in bergmeren en oceanen. Nematoden bezitten geen voeten; dat is ook niet nodig want vertegenwoordigers uit alle lagen van het dierenrijk fungeren als dragers. Als parasiet van vissen en vogels bereizen zij de wereldzeeën en continenten. Ook de wind neemt ze zo nu en dan mee en draagt ze naar hun bestemming.”

Nathan A. Cobb, 1915

---

Nematoden kunnen globaal worden ingedeeld in vrijlevende en parasitaire soorten. Een voorbeeld van een parasitaire soort is *Pratylenchus penetrans*. Hier zien we een exemplaar van die soort de wortel van een afrikaantje binnendringen. Om een indruk te geven van de schaal: het uitstekende deel is ongeveer 0,1 mm lang.



Op nagenoeg iedere plaats waar levende organismen voorkomen, zijn ook nematoden aanwezig. Zij worden ook wel aaltjes of draadwormen genoemd. De meeste leven vrij in de grond, in de holten tussen de bodemdeeltjes. Daar glijden zij door de waterfilm rond deze partikels en voeden zich met bacteriën, schimmels, algen en soortgenoten. In de loop van de evolutie drong een aantal van deze dieren plantewortels en grotere bodemdieren binnen. Eenmaal binnen een gastheer, ontwikkelden sommige nematoden hiermee een parasitaire relatie. Doordat geïnfecteerde planten en wormen weer door andere dieren werden gegeten ging deze ontwikkeling steeds verder. Uiteindelijk kunnen nu alle grotere planten en dieren, inclusief de mens, gastheer zijn van één of meer soorten nematoden.

Als parasiet kunnen nematoden aanzienlijke schade veroorzaken, bijvoorbeeld oogstverlies door aardappelmoeheid of wormziekten die miljoenen mensen in de tropen treffen. Daardoor zijn juist parasitaire nematoden goed bestudeerd. Van de vrijlevende nematoden is veel minder bekend, ondanks hun enorme aantallen en wereldwijde verspreiding. De onderzoeker Cobb gaf een beeldende indruk van deze aantallen: "Als alle materie van de aarde zou verdwijnen behalve de nematoden, dan zou de aarde een holle bol zijn met een uit nematoden bestaande dunne wand. De contouren van bergen, bossen en dergelijke zouden herkenbaar zijn door een vlies van draadwor-

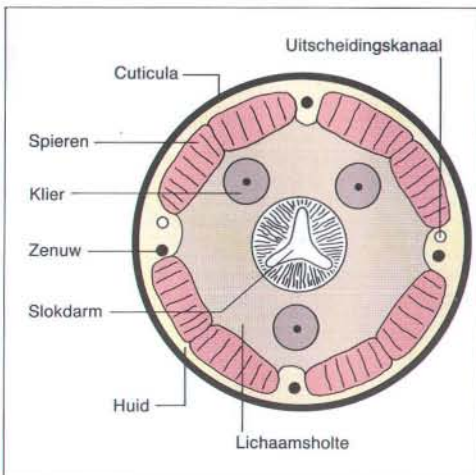


2

1. Dwarsdoorsnede ter hoogte van de slokdarm. Duidelijk zichtbaar is dat een nematode in principe een 'fietsbandstructuur' heeft, met het darmkanaal als binnenband, terwijl de buitenband is opgebouwd uit een spierlaag, een huidlaag en een beschermde cuticula.

2. Het einde van een nematode. Tot de natuurlijke vijanden van sommige nematodesoorten behoren de beerdertjes (*Tardigrada*), zoals deze foto duidelijk maakt.

1

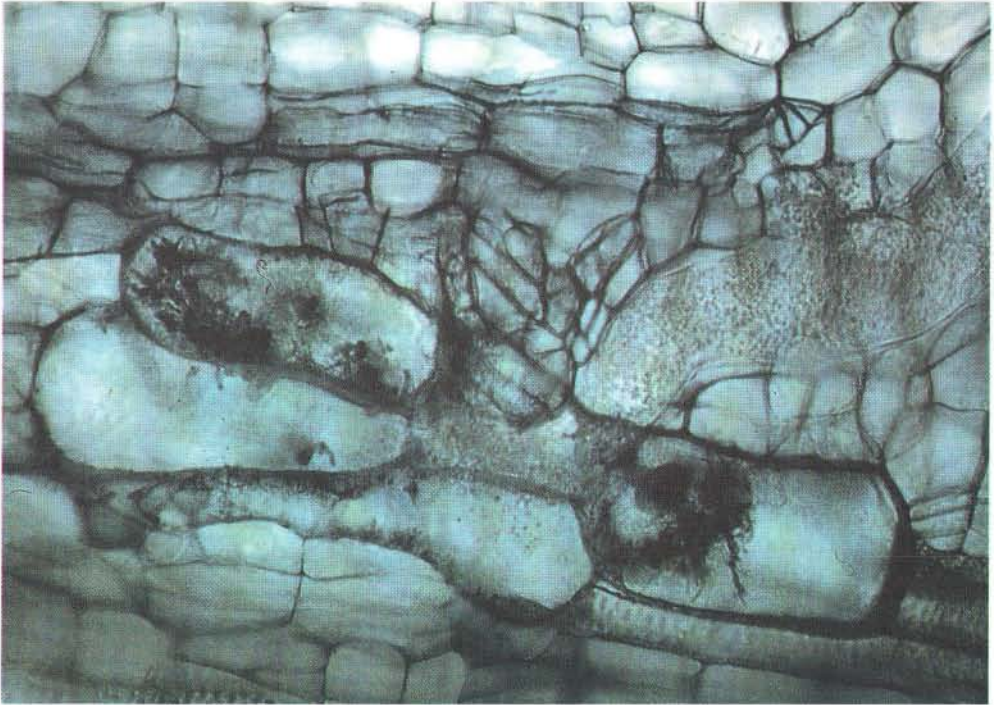


men". Deze beschrijving geeft weer dat nematoden niet alleen qua verspreiding, maar ook met betrekking tot de voortplanting een zeer succesvolle diergroep zijn. Dit succes is te danken aan de eenvoudige aalvorm van de dieren en aan hun grote aanpassingsvermogen.

### Bouw en levenscyclus

Nematoden zijn ongesegmenteerde wormen. Hun bouw is te vergelijken met twee in elkaar geschoven buizen. De buitenste buis bestaat uit drie lagen: een aan de binnenkant gelegen spierlaag, omgeven door een huidlaag waaromheen een beschermende buitenlaag, de *cuticula*, ligt. De binnenste buis bestaat uit het spijsverteringskanaal: slok-, midden- en eind-



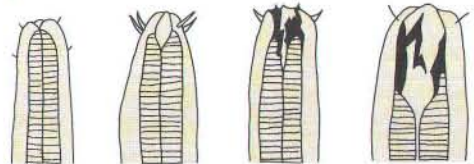


3

3. Reuzecellen. Wanneer een wortelknobbelaaltje (*Meloidogyne*) een plantewortel binnendringt vervormt het de aangetaste plantecel tot een veel grotere voedingscel.

4. Bekholtestructuren. Bij nematoden is de bekholtte soms leeg, soms voorzien van tanden, raspen en/of kaken, afhankelijk van het voedsel. Hier zien we van links naar rechts een bacterie-eter, een kiezelwierslikker, een kiezelwierprikker en een nematodenrover (predator).

4



darm (afb.1). De ruimte tussen de buizen is gevuld met vocht dat onder druk staat en zo werkt als een *hydrostatische skelet* dat het dier stevigheid verschaft. Bij beschadiging loopt de nematode als een fietsband leeg. In de lichaamsholte tussen de twee buizen liggen de geslachtsklieren.

De opvallendste uiterlijke kenmerken waarmee de verschillende soorten zich onderscheiden zijn: afmetingen, cuticula- en bekholtestructuren, de vorm van de slokdarm en van de mannelijke geslachtsstekels. De kleinst bekende soort is een planteparasiet met een lengte van 0,1 mm, de grootste een acht meter lange parasiet in de placenta van een potvis. De cuticula kan glad, geringd, gestippeld, geschubd of behaard zijn. De grootte van de

bekholte varieert en ook de structuren daarin lopen zeer uiteen. Bij sommige soorten is de bekholtte leeg, andere bezitten een min of meer ingewikkelde bewapening met tanden, raspen of kaken. Planteparasitaire nematoden en sommige dierparasieten bezitten bijvoorbeeld een bekstekel waarmee zij plantecellen of bloedcapillairen kunnen aanboren (afb.4).

De levenscycli van de diverse soorten komen in grote lijnen met elkaar overeen. Nematodevrouwtjes leggen na een paring eieren waar jongen uit komen die via een viertal vervellingen uitgroeien tot volwassen mannetjes en vrouwtjes. De lengte van een cyclus van ei tot ei varieert bij vrijlevende soorten van enkele dagen tot enkele maanden en kan bij parasieten wel een jaar duren.



### Vrijlevende en parasitaire nematoden

Nematoden komen alleen voor in besloten ruimten met een hoog vochtgehalte en geschikt voedsel. Vrijlevende vormen komen vooral voor in het labyrint van microscopisch kleine ruimten in de bovenste bodemlagen. Als parasiet leven zij in weefsels en organen van planten en dieren.

Over de evolutie van vrijlevende nematoden is vrijwel niets bekend omdat zij nauwelijks fossiliseren. De eerste, microscopische, waarneming in 1656 van een vrijlevende nematode betrof het wijn(azijn)aaltje, dat zich voedt met azijnzuurbacteriën en bestand is tegen een zeer hoge zuurgraad (lage pH).

Vrijlevende nematoden spelen een belangrijke rol in het bodemecosysteem. Zij voeden zich met micro-organismen die organische stof in de grond afbreken. De nematoden zelf dienen weer als voedsel voor andere bodemdieren, op het land bijvoorbeeld voor mijten en springstaarten en in de zeebodem garnalen en zeeduizendpoten. Sommige schimmels vormen met hun draden strikken waarin zij nematoden vangen en vervolgens verteren.

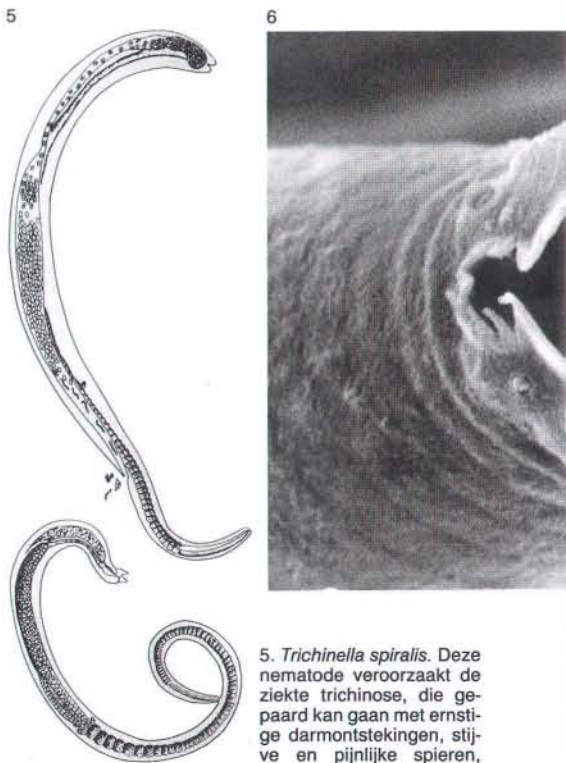
In vruchtbare bodems komen tientallen *mil-jarden* nematoden per hectare voor (50 tot 100 kilo). Tot een draad geregen zouden deze de wereldbol omspannen.

De oudste beschrijvingen van *parasitaire* nematoden betreffen spoelwormen bij mensen en worden aangetroffen in Chinese (2700 jaar v.Chr.) en Egyptische (1500 jaar v.Chr.) geschriften. Mogelijk waren ook de vurige slangen die de Israëlieten teisterden tijdens hun trektocht door de woestijn (Numeri 21), parasitaire nematoden. In de 18e eeuw werd voor het eerst een planteparasiet, het tarwebloesemgalaaltje, ontdekt en beschreven; deze soort veroorzaakt grote schade in streken waar niet gewerkt wordt met geschoond zaaizaad. In het verleden was de oorzaak van ziekten van mens en dier en van schade aan gewassen onbekend. Soms werd echter wel een remedie gevonden om de schade te beperken. Zo vlooit het aloude taboe op het eten van varkensvlees bij semitische volken wellicht mede voort uit de veelvuldige besmetting van varkensvlees met *Trichinella spiralis*, een nematode die de soms dodelijke ziekte trichinose veroorzaakt (afb. 5).

De parasitaire levenswijze heeft zich ontwikkeld uit de vrijlevende. Overgangsvormen

waarbij nematodesoorten zowel binnen als buiten hun gastheer een volledige levenscyclus kunnen uitvoeren, zijn bekend. Naarmate parasitaire nematoden in de loop van hun evolutie meer verschillende gastheren en organen koloniseerden, werd de variatie in hun lichaamslengte en in hun levenscyclus groter. Planteparasieten zijn ongeveer even lang als vrijlevende soorten; parasieten van mens en dier zijn vaak veel groter. Van veel parasitaire soorten is de cyclus ingewikkelder dan van vrijlevende. Rustperiodes, of één of meer tussengastheren zijn vaak noodzakelijk om een cyclus te voltooien. Het verloop van ingewikkelde cycli hangt nauw samen met de vaak specifieke relatie tussen parasiet en gastheer. Dikwijls is de cyclus van de parasiet afgestemd op die van de gastheer en hoe gecompliceerder die van de gastheer is, hoe meer kunstgrepen de parasiet moet toepassen om de eigen cyclus te kunnen voltooien.

Eén gastheer kan geschikt zijn voor verschillende soorten parasitaire nematoden. Landbouwgewassen als aardappelen, bieten en gra-



5. *Trichinella spiralis*. Deze nematode veroorzaakt de ziekte trichinose, die gepaard kan gaan met ernstige darmontstekingen, stijve en pijnlijke spieren,

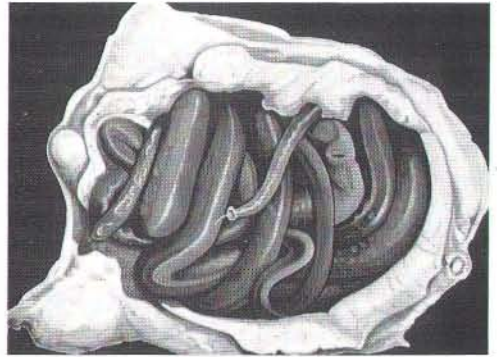


nen kunnen door tientallen soorten nematoden worden aangetast; slechts enkele hiervan veroorzaken aantoonbare schade. Als parasiet van mensen zijn ongeveer 30 soorten bekend, van het paard wel 70. Het aantal nematoden dat in een gastheer kan worden aangetroffen hangt af van de grootteverhouding van gastheer en parasiet. Het menselijk darmkanaal kan duizenden aarswormen (*Enterobius vermicularis*) bevatten; het nierbekken van een hond kan in zijn geheel gevuld worden door één exemplaar van de parasiet *Diocotophyma renale* (afb. 7). Aangetaste tarwekorrels kunnen meer dan 10000 bloesemgalaaltjes bevatten.

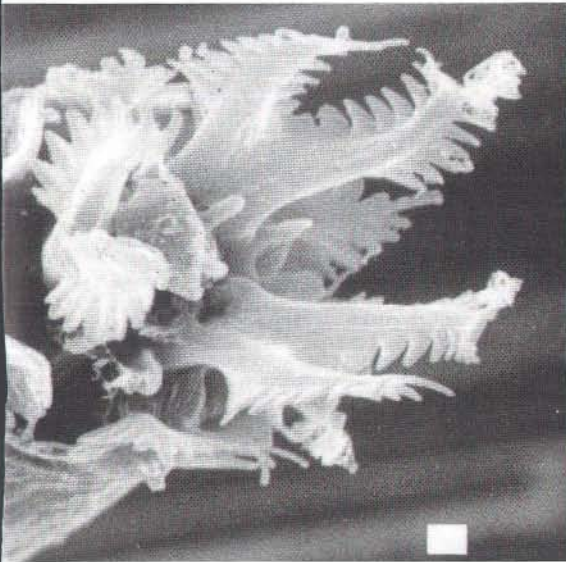
Infecties door nematoden alléén leiden niet vaak tot de dood van een gastheer, meestal zijn daarvoor secundaire aantastingen door bacteriën of schimmels nodig. Wel zijn parasitaire nematoden vaak de oorzaak van productieverlies in landbouw en veehouderij en van vermindering van het arbeidsvermogen van mensen; hun betekenis in economische zin is dus negatief.

6. *Acroboles complexus*. Binnen de klasse der nematoden komt een groot aantal soorten in de meest uiteenlopende vormen voor. Buitengewoon fraai is deze *A. complexus*. De bladvormige structuren om de kop hebben vermoedelijk een zintuigfunctie.

7. Parasiet in nierbekken. Een enkel exemplaar van de parasiet *Diocotophyma renale* kan vreselijk huishouden in het nierbekken van een hond. Het hele bekken is ermee opgevuld.



7



bloedarmoede, reumatische pijnen en waterzucht. De ziekte kan dodelijk zijn en wordt overgebracht door het eten van besmet vlees waarin jonge nema-

toden zitten. De bovenste tekening is van een vrouwtje met jongen. Zij kan drie tot vier mm lang worden. Onder het veel kleinere mannetje.

### Een succesvolle diergroep

Aantallen, soortenrijkdom (20 000 beschreven soorten) en het grote verspreidingsgebied wijzen erop dat nematoden een biologische succesformule hanteren. De pijlers van dit succes zijn de eenvoudige aalvorm en het enorme aanpassingsvermogen aan omgevingsvariabelen. Vooral het alom voorkomen van hun favoriete milieu, de vochtige besloten ruimte, aanwezig in de bodem en binnen andere organismen, bepaalde het succes van nematoden. Aanpassingen in vorm en levenswijze ontwikkelden zich afhankelijk van de dominerende omgevingsfactor in verschillende richtingen. Vier categorieën aanpassingen zijn te onderscheiden: op het gebied van voeding, voortplanting, overleving en verspreiding.

### De voeding

In de bodem voeden nematoden zich met organismen die onderling verschillen in vorm, grootte, gedrag en dergelijke. Om het aanwezige voedsel optimaal te kunnen benutten ontwikkelden nematoden talloze soortspecifieke opsporings-, opname- en verwerkingstechnie-

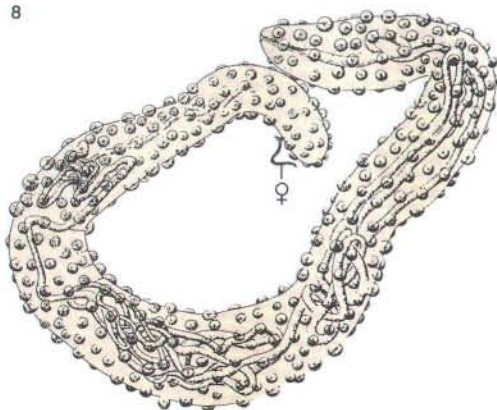


ken. Bodemnematoden die hun voedsel moeten opsporen tussen een overmaat oneetbare deeltjes, bezitten hiervoor speciale zintuigen zoals tastharen en -papillen. Deze zijn daarentegen slecht ontwikkeld bij parasieten die als het ware ingebed zijn in voedsel. Voor het vangen en verwerken van voedsel spelen bekolthe-structuren een belangrijke rol. Bij bacterie-eters en soorten die vloeibaar voedsel opnemen ontbreken deze structuren meestal; zij zuigen het voedsel op als een stofzuiger. Nematoden die zich voeden met grotere organismen, bijvoorbeeld met kiezelwieren, zuigen deze geheel of gedeeltelijk in hun bekolthe, doorboren het kiezel skelet met hun tanden en zuigen de celinhoud op. Vergelijkbaar hiermee is de beweegbare bekstekel van plante- en insekteparasitaire nematoden die als een injectienaald de cellen van de gastheer aanprikt. Soorten die zich voeden met andere nematoden, *predatoren*, hebben vaak een zware bekbewapening die zij gebruiken om hun prooi te verwonden of vast te houden.

#### De voortplanting

Bij de meeste nematoden komen mannetjes en vrouwtjes voor, vindt bevruchting plaats na paring en legt het vrouwtje een beperkt aantal eieren waaruit na verloop van tijd jongen komen. Vooral parasitaire soorten kunnen sterk van dit basispatroon afwijken.

8



8. Een reuze-uterus. De nematode *Sphaerularia bombi* is een parasiet op hommels en wespen. Bij de rijping van de eieren stulpen de vrouwelijke geslachtsorganen zich naar buiten en worden zo groot dat het vrouwtje zelf er een nietig aanhangsel van wordt.



9

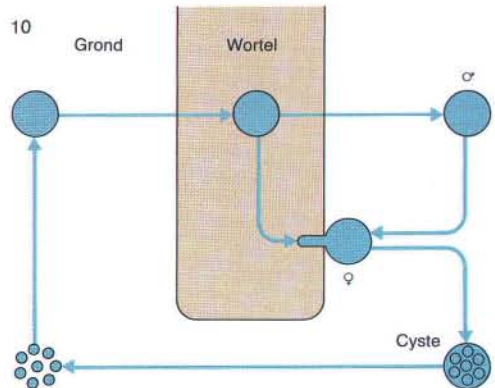
Bij sommige vrijlevende soorten (*Eudiplogaster pararmatus*) en bij veel dierparasieten (*Trichinella spiralis*) komen de eieren reeds uit in het moederlichaam, zodat het jong in het kwetsbare eerste levensstadium broedzorg geniet. Parasieten vinden binnen hun gastheer een stabiel, voedselrijk en veilig milieu; daarbuiten echter, in de periode dat zij een nieuwe gastheer moeten zoeken, is het leven voor hen zeer riskant. Veel parasitaire nematoden produceren dan ook enorme aantallen nakomelingen, waarvan slechts een enkeling kans ziet een nieuwe gastheer te infecteren. Zo kan de spoelworm in de darm van mensen gedurende een tiental jaren dagelijks 200 000 eieren afzetten, waaruit bij afdoende hygiëne geen enkele nieuwe infectie hoeft voort te komen.

Een voorbeeld van een flexibel voortplantingssysteem wordt gevonden bij de soort

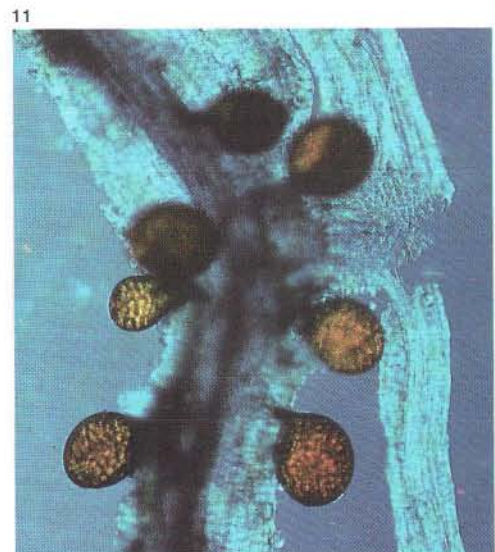




9, 10, 11. Het aardappelcysteaaltje. Deze nematode is een plaag in aardappelvelden. De 0,5 mm lange larven van deze *Globodera rostochiensis* dringen de wortels van jonge aardappelplanten binnen en boren, om zich te voeden, wortelcellen aan met hun bekstekel. Binnen de wortels groeien de larven uit tot mannetjes en vrouwtjes. De 1 mm lange aalvormige mannetjes verlaten de wortels en gaan op zoek naar vrouwtjes om mee te paren. De vrouwtjes zijn inmiddels opgezwollen tot 0,6 mm grote bolletjes, barsten uit de wortel, maar blijven met kop en hals verbonden aan de opgezwollen voedingscel (11). Na paring en bevruchting ontwikkelen zich jongen in de eieren, het vrouwtje sterft en haar lichaamswand verhardt zicht tot een cyste. Deze bevat honderden eieren die jarenlang passief in de grond overleven. Afb. 9 toont een aardappelwortel met daarin rijpende (geel) en rijpe (bruin) cysten. Na aanplant van een nieuw aardappelgewas worden de jongen uit de cyste gelokt. De nematode kan deze cyclus in zes weken voltooien, maar in de praktijk van de landbouw ontwikkelt zich slechts één generatie per jaar. Bij een zware infectie zijn aanzienlijke oogstverliezen het gevolg.



*Sphaerularia bombi*, een parasiet van hommels-koninginnen. Na infectie van de koningin door de nematode ontstaat een concurrentie-situatie waarbij of de eierstokken van de koningin of die van de nematode zich ontwikkelen. Wint de nematode, dan wordt het voortplantingsvermogen van de koningin onderdrukt. De uterus van de nematode ontwikkelt zich zo sterk dat het vrouwtje deze niet meer kan herbergen; de uterus stulpt dan naar buiten en ondergaat daar een reuzenontwikkeling (afb. 8). Dit beïnvloedt het gedrag van de hommels-koningin: vroegtijdig kruipt zij in de grond om te overwinteren. Tijdens het graven ontsnappen de jonge nematoden, kruipen in de grond, worden volwassen en paren. Tegen de tijd dat niet-geïnfecteerde koninginnen gaatjes gaan graven, zijn de bevruchte nematodevrouwtjes klaar om hen te infecteren.





*Overleving*

Een belangrijk aspect dat veel bijgedragen heeft aan het succes van nematoden, is hun vermogen ongunstige omstandigheden te overleven. Eén van de methoden die zij hiervoor gebruiken is het inlassen van een ruststadium in hun levenscyclus. Zo kunnen zij bijvoorbeeld droogte, hitte, verzilting en invriezen doorstaan. Bij voedsel- of zuurstofgebrek kunnen sommige soorten jaren overleven door hun stofwisseling op een zeer laag pitje te zetten en hun reservestoffen te gebruiken. Een gedroogde roggeplant uit een herbarium bleek na 40 jaar nog parasitaire nematoden te bevatten. Toen deze bevochtigd werden, kwamen ze na al die tijd weer tot leven. Weer andere zien kans het giftige zwavelwaterstof te ontgiften door het als zwavelkristallen neer te slaan in hun onderhuidse spierlaag.

Bij sommige planteparasieten verhardten de buitenwanden van de rijpe, opgezwollen vrouwtjes tot een cyste die de eieren omhult; de jongen in de eieren worden pas actief wanneer zij gestimuleerd worden door een lokstof, afgescheiden door de wortels van hun specifieke waardplant. De lokstof geeft het sein dat er voedsel in overvloed is, zodat de jongen zich, na uit hun rust te zijn gewekt, gegarandeerd verder kunnen ontwikkelen. Een ander voorbeeld van de inbouw van een ruststadium in de levenscyclus wordt gevonden bij de soort *Philonema oncorhynchi*, een parasiet van zalmen. De jongen van deze parasiet leven in zoet water en worden ingeslikt door kreeftjes die op

hun beurt weer gegeten worden door jonge zalmen. De jonge zalmen trekken naar zee en de verdere ontwikkeling van de nematode stopt. Pas wanneer de zalmen na jaren volwassen zijn en terugkeren naar het zoete water om te paaïen, ontwikkelen de nematoden zich verder. De nieuwe generatie nematoden is gereed als de zalm na het paaïen sterft. Kreeftjes die zich voeden met de dode zalm nemen tegelijk de jonge nematoden op en wanneer na enige tijd de nieuwe generatie zalmen verschijnt, voedt die zich weer met de kreeftjes. Zo loopt de cyclus van de nematode synchroon met die van de zalm en is een nieuwe generatie nematoden altijd verzekerd van voedsel en een nieuwe gastheer.

*De verspreiding*

Veel vrijlevende nematoden worden passief verspreid doordat ze zich mee laten voeren met wind, water en toevallige voorbijgangers. Vooral in gronddeeltjes die aan vogelpoten blijven kleven kunnen zij grote afstanden overbruggen.

Bij parasieten is de verspreiding van infectieuze nematoden een van de meest kritische gebeurtenissen uit hun levenscyclus. Een ingenieuze aanpassing is te zien bij de soort *Dictyocaulus viviparus* die in de ademhalingsorganen van runderen leeft. De jongen van deze nematode leven in mest en zijn op een gegeven moment infectieus. Uit de mest groeien ook de gesteelde vruchtlichamen met sporen van de schimmel *Pilobolus* omhoog. De jonge nema-

12. Rode-ringziekte. Op deze stronk van een afgezaagde kokospalm is een donkere ring zichtbaar, die in werkelijkheid bruin-rood van kleur is. De boom is bezweken aan de rode-ringziekte, die wordt veroorzaakt door de nematode *Rhadinaphelenchus cocophilus*.

13. Elefantiasis. De benen van een patiënt die aan deze ziekte lijdt zwellen reusachtig op door lymfephooping na infectie door de nematode *Wuchereria bancrofti*. De naam elefantiasis komt van de associatie met olifantpoten, die het ziektebeeld oproept.

12





toden kruipen langs de schimmelsteeltjes omhoog uit de mest naar het vruchtlichaam. Wanneer nu de sporen rijp zijn worden zij wel twee meter ver weggeslingerd. De aan de sporen klevende nematoden overbruggen op deze manier de zone rondom de mest waar de herkauwers niet grazen en vergroten zo hun kans op het treffen van een nieuwe gastheer. Veel ziekteverwekkende soorten worden door insecten verspreid, zoals *Wuchereria bancrofti*, de veroorzaker van elefantiasis bij mensen, door muggen (afb. 13).

### Mens en nematode

Mensen hebben voor hun voedselvoorziening uitgestrekte monocultures aangelegd. Sommige nematodesoorten vinden in een landbouwakker met één gewas of een produktiebos met één boomsoort niet meer het juiste voedsel en verdwijnen. Voor andere soorten is dat echter een luilekkerland waar zij een plaag kunnen worden. Nematoden kunnen in monocultures verwoestend huishouden.

Bij ononderbroken aardappelteelt nemen de aardappelpysteaaltjes zo sterk toe dat de opbrengst nihil wordt (afb. 9, 10, 11). In weilanden die continu begraaasd worden door één soort vee, lijden vooral jonge dieren aan nematode-infecties. Intensieve landbouw rond de eigen woning met gebruik van menselijke mest, heeft in de tropen geleid tot een chronische besmetting van honderden miljoenen mensen met mijn- en spoelwormen.

Ongewenste effecten van monocultures worden tegengegaan door vruchtwisseling. De teelt van aardappels kan regelmatig afgewisseld worden met die van bieten en granen om de populatie cysteaaltjes laag te houden. Weilanden kunnen achtereenvolgens worden gebruikt voor schapen, koeien en hooiland, om specifieke parasieten zo weinig mogelijk kans te geven een dichte populatie op te bouwen. Ook in de fruitteelt en bosbouw past men voor de bestrijding van aaltjes wisselcultures en braakliggen toe.

Bij mensen worden nematode-infecties tegengegaan door verbeterde hygiëne, persoonlijk en in de voedselbereiding, en door gebruik van medicijnen. In streken waar trichinose voorkwam is deze ziekte vaak verdwenen door een strengere vleeskeuring en voorlichting over het gevaar van consumptie van niet goed verhit varkensvlees. In een Amerikaans dorp bleek de blanke bevolking niet, de zwarte wel geïnfecteerd te zijn met mijnworm. Dit probleem loste zich op toen ook de zwarte inwoners schoenen gingen dragen; infectie door jonge mijnwormen vanuit de grond vond toen niet meer plaats.

In een natuurlijk milieu bestaat vaak een grote variatie in plante- en diersoorten. Er is een evenwicht gegroeid tussen bewoners en hun omgeving, waardoor het mogelijk is dat veel soorten zich naast elkaar handhaven. Wordt dit evenwicht verstoord, dan gaat dat ten koste van sommige soorten terwijl andere in aantal toenemen.

13



*De schrijvers bedanken Dr. J. Jansen, Ir. P.W.Th. Maas, Dr. W. Wolff en collega's van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, voor het leveren van kritisch commentaar.*

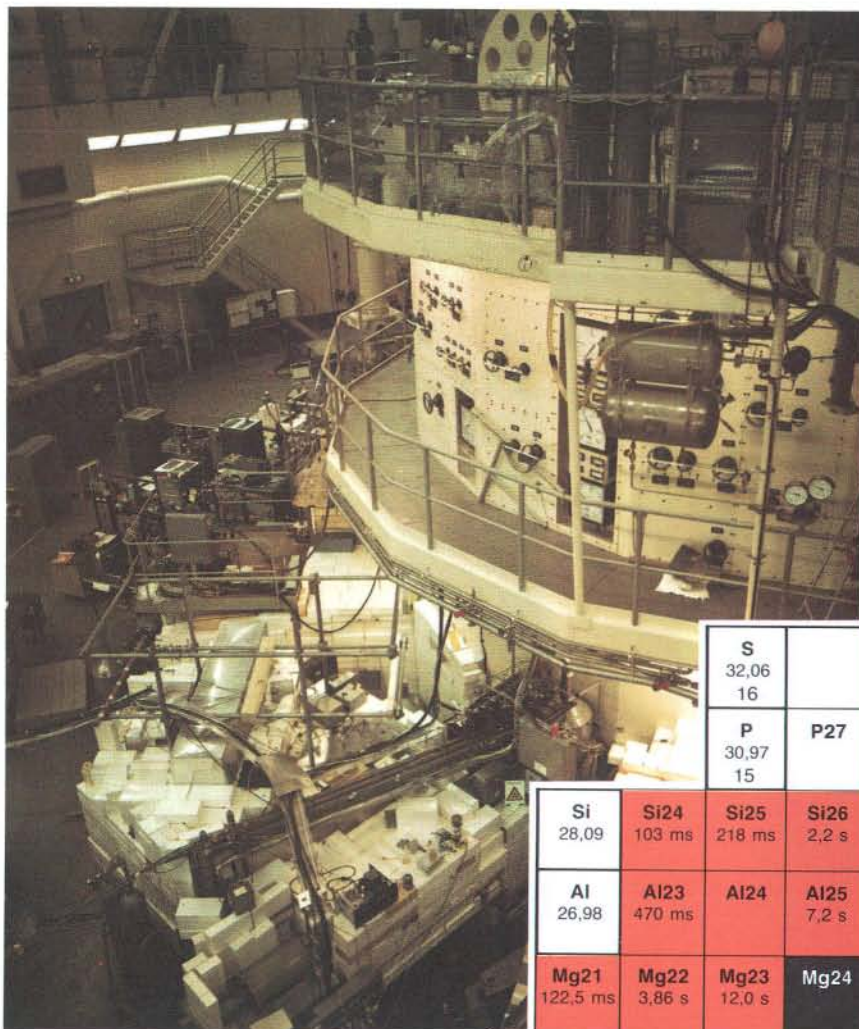
### Literatuur

- Wal AF van der. Nematoden in ruimte en tijd. Wageningen: Landbouwhogeschool, 1983.  
Maggenti A. General Nematology. New York: Springer, 1981.

### Bronvermelding illustraties

- Afdeling nematologie, Landbouwwuniversiteit Wageningen: Opening, 2, 3, 6, 10.  
De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.





De onderzoeksreactor FR2 te Karlsruhe is onder andere in gebruik voor het met neutronen radioactief maken van preparaten voor activeringsanalyse.

Een klein deel van de nuclidenkaart waarop alle isotopen van alle bekende chemische elementen zijn aangegeven. In het afgebeelde deel staan isotopen die van belang zijn in de activeringsanalyse. In wit is steeds het element, met het molekulgewicht zoals dat natuurlijk meestal voorkomt, aangegeven. Onder de isotopen staat, voorzover eenduidig en bekend, de halfwaardetijd in milliseconden (ms), seconden (s), minuten (m), uren (h), dagen (d) of jaren (a). Een stabiel element is zwart afgebeeld. Elektronen- $(\beta^-)$ -stralers zijn blauw, positronen- $(\beta^+)$ -stralers zijn rood weergegeven.

Ar 39,948 18	Ar32 ~75 ms
Cl 35,453 17	Cl31

S 32,06 16		S29 187 ms	S30 1,22 s
P 30,97 15	P27	P28 268 ms	P29 4,2 s

Si 28,09	Si24 103 ms	Si25 218 ms	Si26 2,2 s	Si27 4,2 s	Si28
Al 26,98	Al23 470 ms	Al24	Al25 7,2 s	Al26	Al27
Mg21 122,5 ms	Mg22 3,86 s	Mg23 12,0 s	Mg24	Mg25	Mg26
Na20 446 ms	Na21 22,8 s	Na22 2,60 a	Na23	Na24	Na25 59,6 s
Ne19 17,4 s	Ne20	Ne21	Ne22	Ne23 38 s	Ne24 3,38 m
F18 109,7 m	F19	F20 11,0 s	F21 4,4 s	F22 4,23 s	F23 2,23 s
O17	O18	O19 27,1 s	O20 3,6 s	O21	O22
N16 7,13 s	N17 4,17 s	N18 0,63 s	N19	N20	N21
C15 2,46 s	C16 0,74 s	C17	C18	C19	C20



# ACTIVERINGS ANALYSE

## Meten na verval

Ca 40,08 20		Ca37 175 ms	Ca38 439 ms	Ca39 860 ms	Ca40
K 39,098 19		K36 341 ms	K37 1,22 s	K38	K39
Ar33 173 ms	Ar34 839 ms	Ar35 1,78 s	Ar36	Ar37 35,1 d	Ar38
Cl32 291 ms	Cl33 2,47 s	Cl34	Cl35	Cl36 3,0 · 10 <sup>5</sup> a	Cl37
S31 2,61 s	S32	S33	S34	S35 87,5 d	S36
P30 2,50 m	P31	P32 14,3 d	P33 25,3 d	P34 12,4 s	P35 47,4 s
Si29	Si30	Si31 2,62 h	Si32 280 a	Si33 6,18 s	Si34
Al28 2,25 m	Al29 6,6 m	Al30 3,3 s	Al31 644 ms	Al32	Al33
Mg27 9,46 m	Mg28 21,1 h	Mg29 1,49 s	Mg30 0,85 s	Mg31	Mg32
Na26 1,09 s	Na27 295 ms	Na28 35,7 ms	Na29 48,6 ms	Na30 55 ms	Na31 17,7 ms 20
Ne25 602 ms	Ne26	Ne27	Ne28 18		
F24	F25	F26			
O23	O24 16				
N22					

Door bestraling in een kernreactor of cyclotron kan men een zeer kleine fractie van de atoomkernen in een te onderzoeken monster instabiel en daarmee radioactief maken. Anders dan bij de meeste analyse-technieken gaat het bij activeringsanalyse om een eigenschap van de atoomkern waarvan bij de bepaling gebruik wordt gemaakt. Vergelijking van de radioactiviteit die in monsters en standaards wordt opgewekt door identieke bestraling met bijvoorbeeld neutronen, leidt tot een gevoelige bepaling van een reeks elementen.

Voordelen van de activeringsanalyse zijn, naast de vaak grote gevoeligheid, de mogelijkheid vele elementen tegelijk te bepalen en de omstandigheid dat het monster ná bestraling niet meer gevoelig is voor 'besmetting' vanuit de omgeving of de reagentia. Het voornaamste nadeel is dat er een nucleaire installatie, meestal een kernreactor, voor nodig is. Activeringsanalyse is daarom op maar enkele plaatsen mogelijk en wordt doorgaans pas gebruikt als andere technieken verstek laten gaan. Er resteert dan nog een boeiend en gevarieerd toepassingsgebied waarvan hier een korte indruk volgt.

H.A. Das

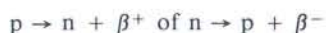
Energieonderzoek Centrum Nederland  
Petten



Radioactiviteit is het verschijnsel dat sommige atoomkernen een eindige levensduur vertonen. Dit uit zich door spontane omzetting van de instabiele kern in een andere, meer stabiele vorm. Bij dit proces komt energie vrij in de vorm van deeltjes en straling. Hun aard en energie, de *kwaliiteit* van de instabiele kern, zijn karakteristiek voor het betreffende verval. De hoeveelheid straling die per tijdseenheid wordt uitgezonden, de *kwantiteit*, is een maat voor het aantal instabiele kernen. In dat laatste komt de meting van het radioactieve verval dus overeen met vele andere spectrometrische technieken. Het verschil met de andere technieken is vóór alles gelegen in de zeer grote hoeveelheid energie die bij het radioactief verval vrijkomt. De gevolgen hiervan voor de analytisch-chemische toepassingen zijn groot en maken de activeringsanalyse een unieke methode:

- er is geen merkbare invloed van de chemische binding en de fysische toestand van het monster op het verval;
- de vrijkomende straling is zó doordringend dat absorptie in het monster meestal te verwaarlozen is en daarmee ook de invloed van de monstersoort op het analyse-resultaat.

Het vervalproces van een instabiele kern verloopt in twee, direct op elkaar volgende stappen. Allereerst wordt een negatief ( $\beta^-$ ) of positief ( $\beta^+$ )  $\beta$ -deeltje uitgestoten. Men kan zich indenken dat in de kern één van de volgende reacties plaats vindt:



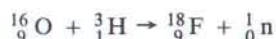
In het eerste geval daalt het aantal protonen ( $p$ ) en stijgt het aantal neutronen ( $n$ ); dit is de vervalwijze van de neutronen-*deficiënte* kernen. Voor de radionucliden met een neutronen-*overschot* geldt de tweede reactie. De som van protonen en neutronen,  $A = N + Z$ , dus de *globale massa*, blijft hier constant. Met het aantal protonen verandert ook de chemische identiteit; er vindt dus element-transmutatie plaats.

Bij de tweede stap vervalst de ontstane kern, die nog in een aangeslagen toestand is, naar de grondtoestand. De resterende extra-energie wordt uitgezonden als karakteristieke  $\gamma$ -straling, dus als energierijke fotonen. De activeringsanalyse berust nu op de meting van aard en intensiteit van deze  $\gamma$ -straling.

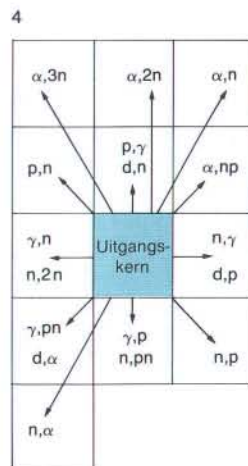
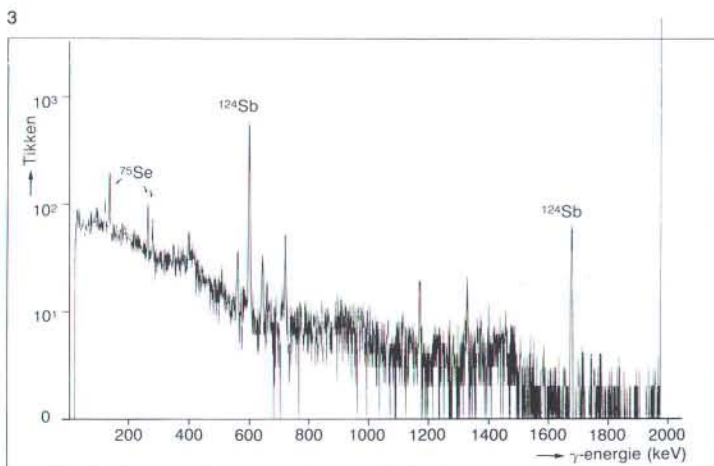
Het vervalschema (afb. 2) ligt voor elk radionuclide vast, dus met inbegrip van de frequentieverdeling over naast elkaar bestaande mogelijkheden van verval.

### Kernreacties

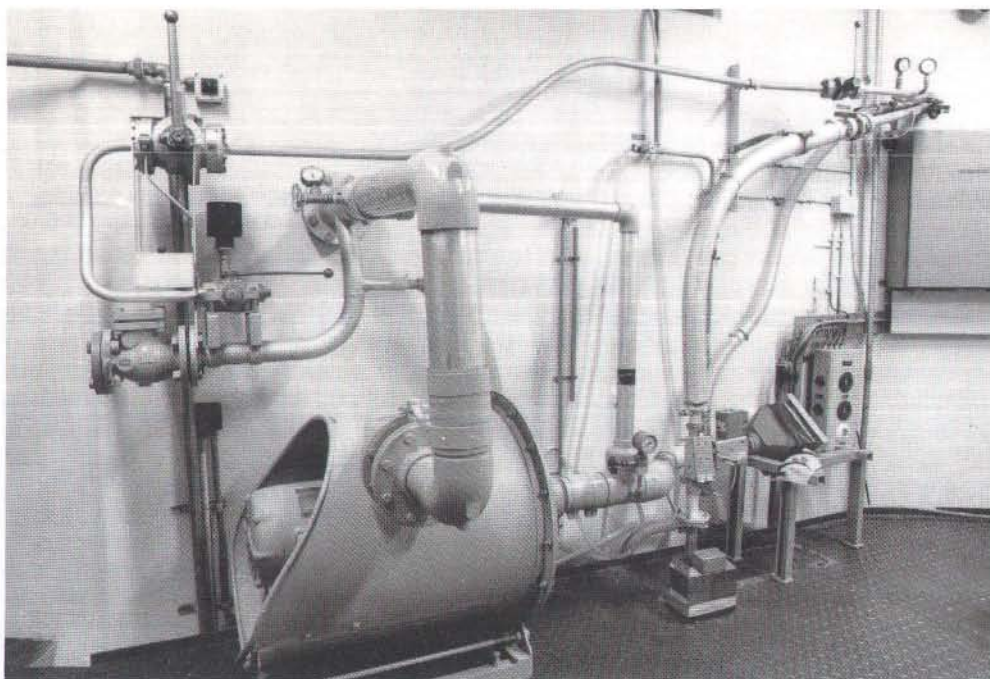
Een kernreactie wordt verkort genoteerd volgens het schema *uitgangskern (ingaaend deeltje, uitgaand deeltje) eindkern*. Zo wordt de reactie tussen een stabiele zuurstofkern, met ladinggetal 8 en massagetal 16, en een waterstofkern met ladinggetal 1 en massagetal 3 meestal niet geschreven als:



maar kortweg als:  ${}^{16}\text{O}({}^3\text{H},\text{n}){}^{18}\text{F}$ .







5

3. Het gammaspectrum van  $^{75}\text{Se}$  nadat het als hydride is geïsoleerd uit vlieggas. Antimoon (Sb) blijkt ook in het mengsel aanwezig.

4. De ordening van de 'buren' van een isotoop op de nucleïdenkaart geeft systematisch aan via welke kernreactie een isotoop soortgenoot is van die buur.

5. Buizenpost is noodzakelijk om preparaten voor een activeringsanalyse naar en van een bestralingspositie in de reactor te transporteren. Hier het wegzendstation van de Hoge Flux Reactor in Petten.

Men schrijft dus het massanummer bij elke kern maar niet het ladinggetal: die informatie is immers al door het chemische element-symbool gegeven. Het gaat hierbij dus steeds om het gedrag van een bepaalde kernsoort (isotoop), niet om een chemisch element. Activeringsanalyse is dus in feite een techniek om *isotoopconcentraties* te bepalen. Vanwege de constante isotoopverhoudingen in de (natuurlijke) elementen kan men echter ook *elementconcentraties* meten.

De meeste reacties, die analytisch van belang zijn, zijn *endotherm*; ze kosten energie. De voornaamste uitzondering is de  $(n, \gamma)$  reactie. Het  $\gamma$ -symbool verwijst hier naar direct

vrijkomende  $\gamma$ -straling, die bij de activeringsanalyse niet wordt benut. Verreweg de belangrijkste reacties zijn die met neutronen. Hun energie is daarbij van grote invloed. Neutronen die in energie-evenwicht met hun omgeving zijn noemt men *thermisch*. Ze zijn (relatief) zeer reactief maar kunnen alléén exotherme, dus vooral  $(n, \gamma)$ , reacties teweegbrengen. *Snelle* neutronen die zich met veel energie langs vrijwel rechte lijn bewegen hebben minder trefkans maar kunnen wel endotherme reacties veroorzaken. De maat voor de energie van een kernreactie is de elektronvolt, eV, meestal gebruikt als de keV of MeV. Er geldt:  $1 \text{ eV} = 1,682 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$ . De massa van elk deeltje kan ook in MeV's worden uitgedrukt via de omrekenregel:  $1 \text{ u (atomaire massa-eenheid)} = 931,4 \text{ MeV}$ . Eén u is ongeveer de massa van een proton of een neutron; de precieze definitie is: een twaalfde deel van de massa van een  $^{12}\text{C}$ -kern. Zo komen we tot het verschil tussen de *globale* massa, gegeven door  $A = N + Z$ , en de *precieze* massa: bij een kernreactie of bij radioactief verval blijft de globale massa constant, maar de precieze massa verandert iets. Dit massaverschil is via de



gegeven omrekening bepalend voor de energiebalans. De calorische effecten van een kernreactie drukt men in MeV's uit. De uitgezonden karakteristieke  $\gamma$ -straling heeft een energie van  $\simeq 0,1$  tot  $\simeq 3$  MeV. De energie van de chemische binding is  $\simeq 4$  eV; invloed daarvan op het verval is dan ook niet te verwachten.

### Verval en groei van radionucliden

De activiteit die door bestraling wordt opgewekt is recht evenredig met het oorspronkelijke aantal atoomkernen van het betrokken element in het bestraalde monster. Ook al is maar een zeer kleine fractie van de atoomkernen omgezet, toch is hun absolute aantal zó groot dat het lineaire verband statistisch gezien tot een zekerheid is geworden. Om diezelfde reden kan het radioactieve verval, dus de afname van het aantal instabiele kernen met de tijd, goed voorspeld worden. Schrijven wij die afname als  $-dN^*/dt$ , waarin  $N^*$  het aantal actieve kernen en  $t$  de tijd is, dan geldt

$$dN^*/dt = -\lambda N^* \quad (1)$$

en daarmee, na integratie, ook

$$N^* = (N^*)_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

waarin de index 'nul' het beginpunt van de waarnemingen aangeeft.

De constante  $\lambda$ , uitgedrukt in de reciproke tijd, is de *vervalconstante* die voor elke actieve kernsoort vaststaat. Vaak wordt  $\lambda$  vervangen door de *halfwaarde-tijd*,  $T_{1/2}$  gedefinieerd als

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,6932}{\lambda} \quad (3)$$

Voor de snelheid van de afname van het aantal actieve kernen, dus voor  $-dN^*/dt$ , heeft men de naam activiteit ingevoerd. De eenheid van activiteit is 1 desintegratie per seconde ( $d \cdot s^{-1}$ ) = 1 Becquerel (Bq). Overigens wordt de vroegere eenheid, de Curie (Ci), nog veel gebruikt;  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} d \cdot s^{-1}$ .

Wat gebeurt er nu als een aantal van  $N$  stabiele kernen wordt bestraald? Er vindt dan zowel aangroei als verval van het aantal instabiele kernen,  $N^*$ , plaats. De balans van deze twee verschijnselen levert een vergelijking op voor  $N^*$  als een functie van de tijd:

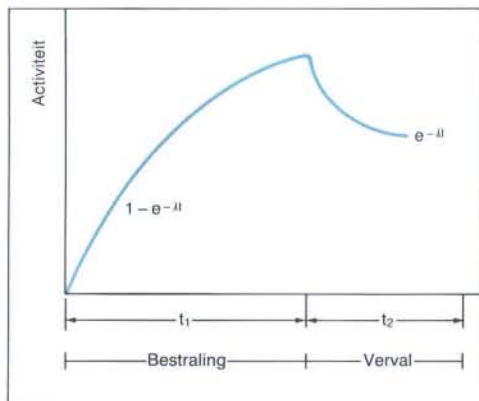
$$dN^*/dt = r \cdot N - \lambda \cdot N^* \quad (4)$$

6. Het verloop van de opgewekte radioactiviteit in de tijd. Tijdens de bestraling neemt de activiteit toe volgens vergelijking 5, daarna daalt ze volgens de vervalwet (vergelijking 6).

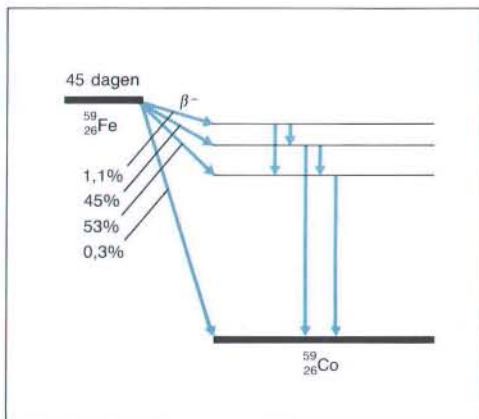
7. Het vervalschema van radionuclide  $^{59}\text{Fe}$ . De halfwaardetijd is 45 dagen. Het  $\beta^-$ -verval kan tot vier energieniveau's leiden, waartussen weer vijf overgangen mogelijk zijn die gammastraling opleveren. De aangegeven percentages geven de kansverdeling van het  $\beta^-$ -verval naar de vier toestanden van  $^{59}\text{Co}$ .

8. Na bestraling is een preparaat veel te radioactief om door mensen aangepakt te kunnen worden. Met de buisenpost wordt het daarom in een afgeschermd laboratoriumkast 'geblazen', waar het met afstandsbediening behandeld kan worden.

6



7





Hierin staat  $r$  ( $s^{-1}$ ) voor de reactiekans. Integratie van (4) levert

$$\text{Activiteit} = \lambda N^* = r \cdot N(1 - e^{-\lambda t}) \quad (5)$$

Na het einde van de bestraling gaat het verval door. De activiteit verloopt dus met de tijd (afb. 6). De meting ervan gebeurt, uiteraard, over een beperkt tijdsinterval. Dat houdt in dat alléén de instabiele kernen die juist in die periode vervallen, bijdragen tot het meetsignaal. Wanneer de activiteit aan het einde van de bestraling, berekend volgens (5), wordt aangegeven met  $(\text{Act})_0$ , dan geldt op elk moment  $t$  na het einde van de bestraling:

$$\text{Activiteit} = (\text{Act})_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Na de bestraling zal er altijd een tijdsinterval  $t_{\text{wacht}}$  verlopen voordat de meting begint. Als

de meettijd gelijk is aan  $t_{\text{meet}}$ , dan volgt, na enige elementaire wiskunde (7):

$$\text{Meetsignaal} \div (\text{Act})_0 \cdot e^{-\lambda t_{\text{wacht}}} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda t_{\text{meet}}}}{\lambda}$$

Voor de laatste factor kan men meestal gewoonweg  $t_{\text{meet}}$  schrijven. Wij zien dus dat het meetsignaal evenredig is met het oorspronkelijke aantal stabiele kernen  $N$  en met de reactiekans  $r$ . Dit richt onze belangstelling op deze laatste grootte. De reactiekans is evenredig met de intensiteit van de bestraling. De evenredigheidsconstante is karakteristiek voor het betrokken stabiele nuclide. Het blijkt nu dat de evenredigheidsconstante op grillige wijze afhangt van het massanummer  $A$ . Het gevolg is dat het belang van de activeringsanalyse sterk en onregelmatig wisselt over het periodiek systeem. Tenslotte moet worden bedacht dat niet elke desintegratie zal worden gere-





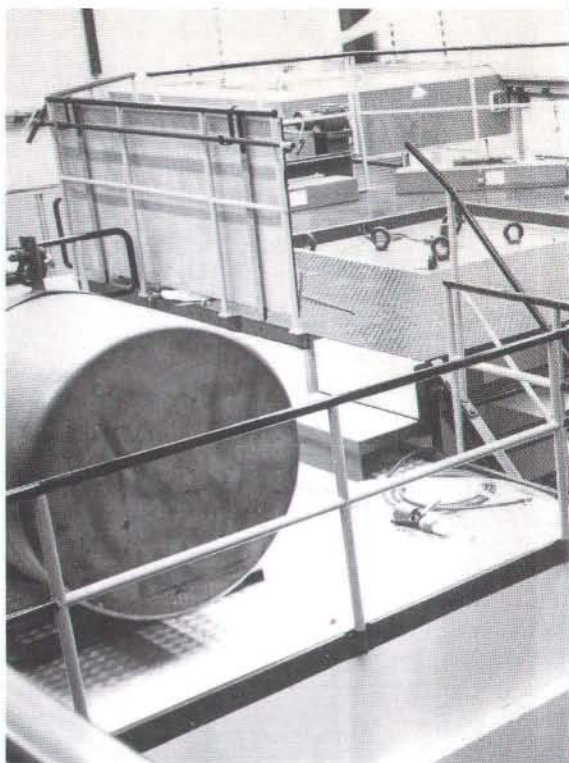
gistreerd door de meetapparatuur: een deel van de straling wordt niet in de goede richting uitgezonden en van de straling die de detector bereikt wordt een zekere fractie niet waargenomen. Te zamen worden deze twee effecten verwerkt in een telefficiënte  $\gamma$ , die experimenteel wordt bepaald. Wij kunnen dus schrijven:

$$\text{Meetsignaal (tikken} \cdot \text{s}^{-1}) = \gamma \cdot \text{Activiteit (desintegraties} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (8)$$

Door de vergelijkingen (5) en (8) te combineren zijn we nu in staat het lineaire verband tussen het meetsignaal en het oorspronkelijke aantal stabiele kernen uit te schrijven. Het ligt voor de hand dat men de evenredigheidsconstante experimenteel bepaalt voor de betrokken combinatie van bestralings- en tel-omstandigheden.

### Meten van straling

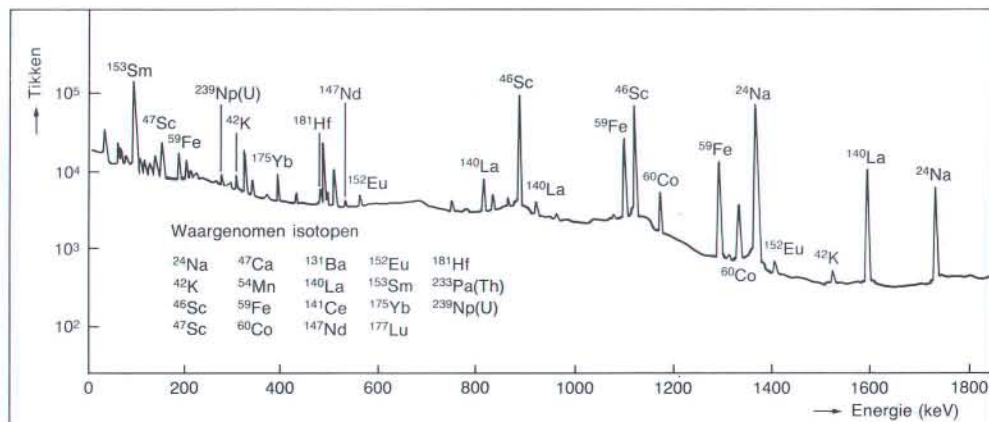
Een  $\gamma$ -spectrum geeft het verband tussen de intensiteit en de energie van de uitgezonden straling. Het gebruikelijke energiegebied loopt van  $\sim 50$  keV tot  $\sim 2000$  keV. Gewoonlijk gebruikt men een halfgeleider-detector. Een invallend  $\gamma$ -foton maakt daarin een aantal elektronen los die een spanningspuls veroorzaken. Detector en elektronisch circuit veroorzaken een zekere piekverbreiding. De bij benadering Gaussische piek heeft aan de voet een breedte van enkele keV's. Dit brengt met zich mee dat er onderlinge storing van dichtbij elkaar gelegen pieken kan optreden.



10

9. Het gammaspectrum van een gesteente, zeven dagen na de bestraling voor activeringsanalyse. Dat niet alle pieken hier toegewezen lijken heeft grafische redenen. Per element komen meer pieken voor, de reden daarvoor heeft te maken met de manier waarop het verval plaatsvindt en is af te leiden uit afbeelding 7. (figuur naar: Laul J.C. Atomic Energy Review 1979: 17; pag. 642).

9

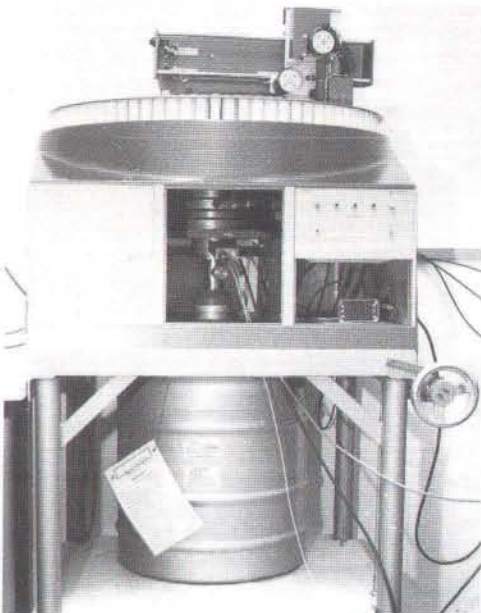






10. De auteur van dit artikel gebruikt voor zijn onderzoek de hier afgebeelde 10 tot 100 kW Lage Flux Reactor in Petten.

11. Een gammaspectrometer met automatische monsterwisselaar bij het ECN in Petten.



11

Een  $\gamma$ -spectrum na een geschikte wachttijd (afb. 9), is verdeeld over een aantal *kanalen* van opeenvolgende energiestapjes; gewoonlijk is zo'n kanaal 0,5 tot 1 keV breed. Het spectrum bestaat uit een aantal discrete *pieken* op een *continuüm*. De pieken zijn het gevolg van de totale absorptie van de energie van gamma-quanten of fotonen. Het continuüm wordt veroorzaakt door gedeeltelijke absorptie, via de inelastische Comptonverstrooiing. Het oppervlak van een fotopiek is een relatieve maat voor de activiteit van het betreffende radionuclide en daarmee voor de concentratie. De analytische toepasbaarheid van de  $\gamma$ -spectrometrie hangt dus af van de bepaling van de piekoppervlakken. Bij afnemend gehalte zal de statistische fout relatief toenemen. De ondergrens van de bepaling is afhankelijk van de maximaal accepteerbare fout.

#### *Chemische scheiding na bestraling*

Een mogelijkheid om een te ingewikkeld  $\gamma$ -spectrum uiteen te rafelen is chemische schei-

ding na de bestraling. Het gaat hierbij om het isoleren van de aanwezige activiteit. Omdat die alleen maar tijdens de bestraling kan zijn gevormd is er geen kans op besmetting van het monster door de blanco van de reagentia. Men kan zelfs een bekende overmaat van het te bepalen element als drager (*carrier*) toevoegen om zo de chemische af scheiding te vergemakkelijken.

In beginsel zijn alle chemische scheidingsmethoden bruikbaar. Het toevoegen van een bekende hoeveelheid drager levert bovendien de mogelijkheid om de opbrengst van een chemische scheiding afzonderlijk te bepalen. Zo kan men een concentratie van enkele nanogrammen kwik per gram aardappelmeel zeer goed via conventionele gravimetrie, dus door weging van een neerslag, bepalen. Daartoe bestraalt men  $\sim 100$  mg aardappelmeel, te zamen met enkele kwikstandaarden en een referentiemateriaal, waarvan het kwikgehalte goed bekend is. Hierbij ontstaat  $^{203}\text{Hg}$  ( $T_{1/2} = 46$  dagen). Het monster wordt vervolgens ge-

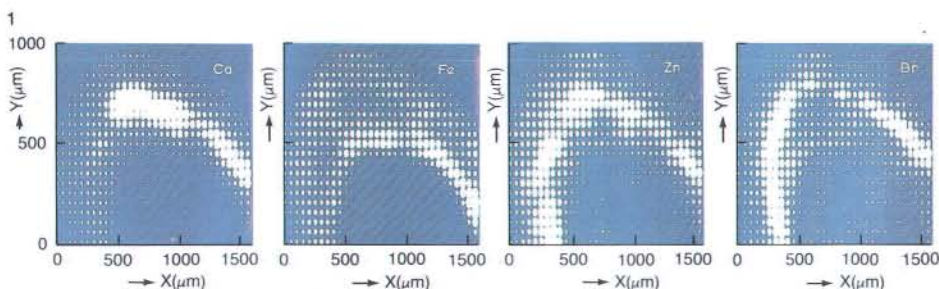


## Prompte technieken

Naast de activeringsanalyse die wordt bedreven met een kernreactor bestaan versnellertechnieken waarbij relatief hoogenergetische protonen op het te analyseren monster worden geschoten. Hoewel met de versneller ook activeringsanalyse wordt gedaan, is de thans gebruikelijke techniek een prompte techniek, waarbij tijdens de beschieting het signaal wordt gedetecteerd. Meestal worden hier atomaire effecten (röntgenemissie)

in plaats van kerneffecten bekeken. Voornaamste voordeel van een versnellertechniek is dat men ook plaatsafhankelijke sporelementconcentraties kan meten.

De activeringsanalyse maakt gebruik van de geïnduceerde straling die na een geschikte wachttijd nog in een bestraald monster aanwezig is. De prompte techniek, de laatste 15 jaar ontwikkeld, maakt gebruik van de straling die het monster direct na het protonenbombardement uitzendt. De bekendste van deze prompte tech-

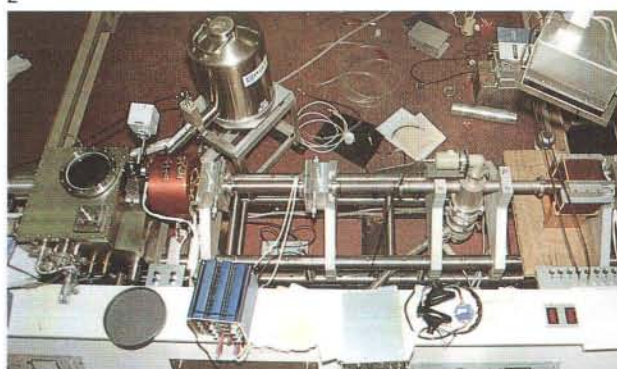


1-1. De verdeling van de elementen calcium, ijzer, zink en broom in een bloedvatwand. Zink blijkt een rol te spelen in het proces van aderverkalking.

1-2. Apparatuur voor het maken van de PIXE-scans. Zichtbaar is de apparatuur waarmee microbeams worden gemaakt en gestuurd. Links de monsterkamer.

1-3. De monsterkamer bij de uitgang van een cyclotron waar een PIXE-monster wordt bestraald.

2



destrueerd met zwavelzuur en salpeterzuur en men voegt een bekende hoeveelheid ( $\sim 50$  mg) kwiknitraat ( $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ) toe. Door nu kwiksulfide ( $\text{HgS}$ ) neer te slaan en dat te wegen, weet men hoeveel van het dragerkwik is verzameld en dus ook welke fractie van het radionuclide  $^{203}\text{Hg}$ . Het resultaat van de telling van het neerslag kan nu worden gecorrigeerd voor een eventuele niet-kwantitatieve opbrengst.

In het algemeen zoekt men naar chemische scheidingen die snel in serie zijn uit te voeren en een hoge, mogelijk kwantitatieve, opbrengst leveren. Een goed voorbeeld daarvan is de isolatie van seleen middels vervluchtiging van het hydride ( $\text{SeH}_2$ ). Anders dan bij de atomaire absorptiespectrometrie (AAS) waar het vluchtige hydride terstond in de vlam of oven wordt geleid, wordt het hier op een ab-



nieren is de PIXE-methode, waarbij PIXE staat voor *Proton Induced X-ray Emission*. De energie van de protonen die het monster raken wordt zo geregeld dat er geen kernreactie optreedt, maar een K- of L-elektron uit de elektronenwolk van atomen in het monster wordt geschoten, waarna karakteristieke röntgenstraling wordt uitgezonden. Deze straling wordt in de regel gedetecteerd met een silicium-lithium-halfgeleider-detector, die de ingestraalde hoeveelheid energie omzet in elektrische lading. Na digitalisering en bewerking in een veelkanaalsanalysator levert zo'n experiment een röntgenspectrum waarin gelijktijdig alle elementen gedetecteerd zijn die in waarneembare hoeveelheden in het monster aanwezig waren. De lichte elementen, met minder dan elf protonen ( $Z < 11$ ) kunnen met PIXE niet worden gemeten. Hun laag-energetische signaal gaat verloren in de apparatuur, die bevat detectorvensters en drukwanden om het vacuüm. De bestraling moet in vacuüm plaatsvinden om de protonen voldoende vrije weglengte te geven. De lichtere elementen kunnen gemeten worden met andere technieken, die wel op kernreacties be-

rusten en dikwijls tegelijkertijd met PIXE uitgevoerd kunnen worden.

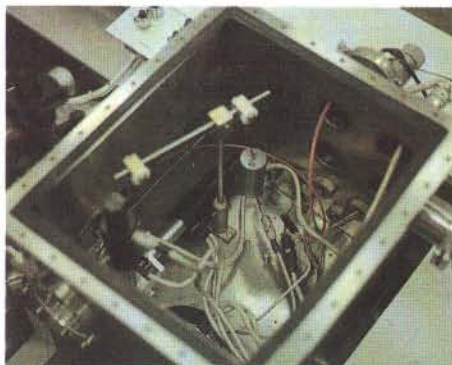
Met deze techniek kan men in korte tijd een röntgenspectrum produceren dat de elementgehalten tot op het concentratieniveau van 0,1 tot 1 ppm weergeeft. Hierin is PIXE evenwel niet uniek. Er zijn analysetechnieken aan te wijzen die enkele elementen tot aanzienlijk lagere concentratieniveaus kunnen meten. De gebruikte protonenbundels zijn echter scherp te stellen op een oppervlak van enkele vierkante microns ( $\mu\text{m}^2$ ) van het te bestuderen preparaat, waarbij het detecterend vermogen gehandhaafd blijft. Een protonenbundel kan dus zo bestuurd worden dat hij een monster aftast, zodat men informatie krijgt over de verdeling van bijvoorbeeld spoorelementen op micronschaal. Deze combinatie van meten op ppm-niveau op zeer kleine oppervlakken is wel uniek; andere scherp gefocuseerde bundels van bijvoorbeeld laserlicht kunnen niet tot op dit detectieniveau meten.

De meeste toepassingen van deze protonenmicrobundels vindt men in de biologie en in de aardwetenschappen. In de biologie is vooral het vergelijken van de spoorelementverdeling met een eiwitverdeling van belang. De spoorelementen worden dan gevonden met PIXE, de eiwitverdeling met histologische kleurmethode. In de geologie kan men aan de hand van het optreden van spoorelementen in bepaalde mineralen of aan de hand van concentratieverschillen van deze elementen de vormingsgeschiedenis van gesteenten leren kennen. Al met al kan deze jonge techniek, de eerste microprotonbundels dateren van 1980, nog belangrijke bijdragen leveren aan vooral de twee genoemde takken van wetenschap.

**R.D. Vis**

*Natuurkundig Laboratorium  
Vrije Universiteit Amsterdam*

3



sorptiepatroon van actieve kool vergaard en later geteld. Dit gaat minder snel dan de AAS-werkwijze maar het opent een mogelijkheid van langdurige telling, en daarmee van een grote gevoeligheid. De aantrekkelijkste kant van de activeringsanalyse is echter de specificiteit. Het  $\gamma$ -spectrum dat na afscheiding van het seleen wordt gemeten (afb. 3) is hier een illustratie van.

### De gang van een activeringsanalyse

Het schema van de activeringsanalyse via radionucliden met een halfwaardetijd groter dan  $\sim 12$  uur is weergegeven in afb. 12.

Van binnenkomende monsters wordt  $\sim 100$  mg stof in polyethenen capsules van standaardafmetingen afgewogen, zonodig in een stofarme ruimte. Elke capsule wordt van een



ijzeren standaardringetje voorzien; de activiteit die daarin wordt opgewekt is een maat voor de neutronendichtheid ter plaatse. De activering vindt plaats in één van de bestralingsposities van een kernreactor. Met de monsters worden *synthetische standaards*, op basis van actieve kool, en *standaardreferentiematerialen* bestraald. De laatste zijn afkomstig van enige internationale instituten. Na een 'koeltijd' van enkele uren in het reactorbassin, om de meeste radioactiviteit te laten verdwijnen, worden de tellingen uitgevoerd. De gebruikelijke meettijd is zes- tot tienduizend seconden per preparaat. De monsters worden één voor één door een mechanische preparaatwisselaar aangevoerd (afb. 11). De verkregen  $\gamma$ -spectra worden op magneetband opgeslagen en in een computer verwerkt en gesorteerd. De berekening van de concentraties berust op een lijst ('bibliotheek') van *specifieke telsnelheden* die in de computer is opgeslagen. De specifieke telsnelheid geeft aan hoeveel pulsen ('tikken')

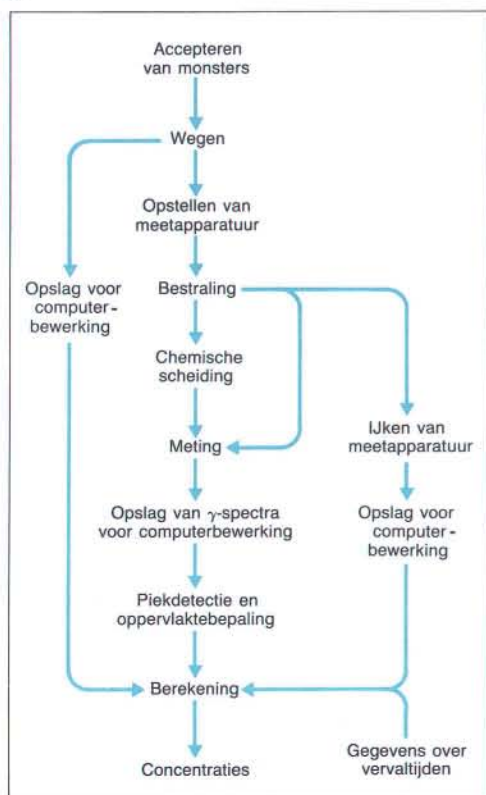
er per  $10^3$  seconden en per  $\mu\text{g}$  worden verzameld na activering in die telfaciliteit en bij telling met deze  $\gamma$ -spectrometer. De bibliotheek is verkregen door herhaalde metingen aan de eerder genoemde synthetische standaards. Bij elke volgende bestraling worden ze gecontroleerd en zonodig bijgesteld aan de hand van de dan meegenomen standaards. De standaardreferentiematerialen dienen ter controle van de juistheid der bepalingen. De computer geeft ook de standaarddeviaties in de verkregen concentraties vanwege de bepaling van het piekoppervlak. Tenslotte beslist de uitvoerder over de aanvaardbaarheid van het resultaat.

### Toepassingen

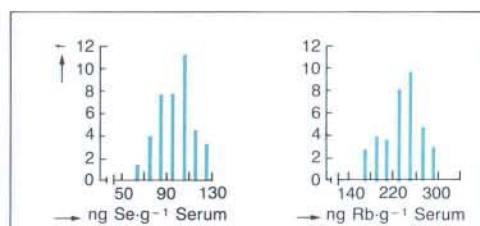
Activeringsanalyse wordt vooral toegepast met de volgende drie oogmerken:

- Als *multi-elementmethode* bij moeilijk oplosbare of kostbare materialen en voorwerpen. Voorbeelden zijn silicaten, met inbegrip

12



14



van industriële reststoffen zoals vliegashouders, verder katalysatoren en unieke archeologische voorwerpen.

- Als *finger-printingtechniek*. Hierbij gaat het erom, via een reeks concentraties een beeld van het materiaal te ontwerpen. Dat kan vervolgens gebruikt worden om in een reeks, schijnbaar identieke, monsters onderscheid te maken. Deze methode is vooral in gebruik bij het karakteriseren van steenkoolsoorten, heroïne-monsters en potscherven.

- Ter bepaling van enkele (spoor)elementen waarvoor activeringsanalyse een zeer grote gevoeligheid levert. Voorbeelden: seleen in bloedserum (afb. 14); de bepaling van vanadium, arsen en molybdeen in zeewater en van goud in luchtstof.



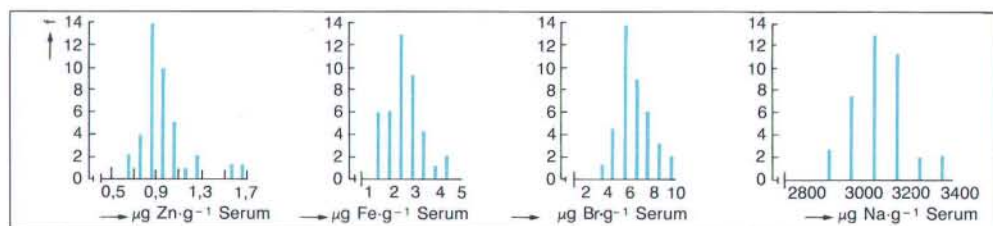


13

12. Overzicht van de gang van zaken bij een activeringsanalyse.

13. Van dit gouden Inca-beeldje is het goud gekarakteriseerd door enkele honderden microgrammen ervan te onderwerpen aan neutronenactiveringsanalyse. Zulk onderzoek aan kunstvoorwerpen kan bijvoorbeeld iets duidelijk maken over de herkomst van het gebruikte materiaal.

14. De frequentieverdeling van enkele met activeringsanalyse bepaalde sporelementen in menselijk serum van 40 gezonde proefpersonen. (Uit: Woitiez J.R.W. Report ECN-148, Petten, 1984).



*Dit artikel is onderdeel van een serie over analytische chemie. Bij de samenstelling van de serie kreeg de redactie hulp van prof.dr. U.A.Th. Brinkman, Vakgroep Algemene en Analytische Chemie, VU Amsterdam en van drs. J. Bouma, Chemiedidactiek, VU Amsterdam.*

#### In deze serie verschenen eerder:

Chemische analysemethoden, inleiding, november 1984.  
UV/VIS, januari 1985.  
IR/Fluor, februari 1985.  
NMR/ESR, maart 1985.  
Atoomspectrometrie, mei 1985.  
Massaspectrometrie, juni 1985.  
Chromatografie, inleiding, oktober 1985.  
Gaschromatografie, december 1985.  
Hoge-drukchromatografie, februari 1986.  
Elektrochemische analyse, april 1986.  
Chemometrie, september 1986.

#### Literatuur

Kruger P. Principles of Activation Analysis. New York: Wiley Interscience, 1971: 572 pag.  
McKay HAC. Principles of Radiochemistry. London: Butterworths, 1971: 550 pag.  
Galan L de. Analytische Spectrometrie. Amsterdam: Agon Elsevier, 1972: 208 pag.  
Nargolwalla SS, Przybylowicz EP. Activation Analysis with Neutron Generators. New York: J. Wiley & Sons, 1973: 662 pag.  
Mann WB, Ayres RL, Garfinkel SB. Radioactivity and its Measurements. Oxford: Pergamon Press, 1980: 282 pag.  
Das HA, Sloot HA van der, Faanhof A. Environmental Radioanalysis. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1983: 298 pag.

#### Bronvermelding illustraties

Kernforschungs Zentrum, Karlsruhe: afb. 2.  
Kernforschungs Anlage, Jülich: afb. 8.  
De afbeeldingen bij het intermezzo zijn van dr. Vis, VU Amsterdam.  
De overige illustraties zijn afkomstig van het ECN, Petten.



# ONONDERBROKEN







## Elektriciteit voor fijnproevers

De kwaliteit van de elektriciteitsvoorziening in vrijwel alle geïndustrialiseerde landen is zo hoog, dat de meeste verbruikers van elektrische energie daarmee geen enkel probleem ondervinden. De kleine onregelmatigheden die in de energievoorziening optreden worden door deze niet-gevoelige verbruikers niet opgemerkt. Hooguit raakt de gemiddelde verbruiker opgewonden als door een stroomstoring zijn elektrische wekker een half uur te laat afloopt, of zijn favoriete televisieprogramma wordt onderbroken.

# STROOMVOORZIENING

**P.L.M. Beems**  
*HOLEC, Hengelo*

In het donker landende piloten zien graag de baanverlichting branden. Een stroomstoring van enige duur zou landen onmogelijk maken. Systemen die de ononderbroken stroomvoorziening garanderen zijn daarom voor vliegvelden een noodzaak.



Er zijn elektriciteitsverbruikers, waarvoor ook de kleinste afwijking in de netspanning of netfrequentie ernstige gevolgen heeft, om nog maar te zwijgen van de chaos na een langdurige stroomonderbreking. Het gaat hierbij vooral om computergestuurde processen in de industrie, communicatieapparatuur, computercentra en medische systemen. Zo lopen bank-employees, die gegevens verwerken door middel van een computersysteem, het risico een deel van die gegevens kwijt te raken, als zich een stroomstoring voordoet en de bank daar geen maatregelen tegen heeft genomen.

Afhankelijk van de eisen die de gebruiker aan kwaliteit en continuïteit van elektriciteit stelt, kunnen dergelijke maatregelen bestaan uit het toepassen van ondermeer netfilters, noodstroomaggregaten of ononderbroken stroomvoorzieningssystemen. Vooral voor de uiterst kritische gebruiker biedt laatstgenoemd systeem, dat ook wordt aangeduid met *no-breaksysteem* of *UPS-systeem* (Uninterruptible Power Supply), de oplossing.

Een dergelijk systeem moet in de eerste plaats probleemloos de kwaliteit van de elektrische energie uit het openbare net kunnen



## Elektrische netten

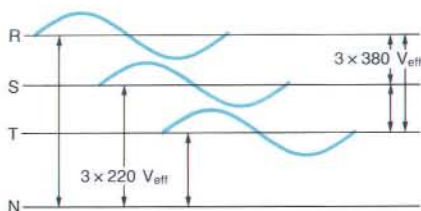
Elektrische energie bereikt de gebruiker in het grootste deel van Europa via een uitgebreid, onderling gekoppeld elektrisch net. De elektriciteitscentrales voeden het net met een sinusvormige wisselspanning. In principe zijn de netten driefasig uitgevoerd: drie geleiders in de netten voeren wisselspanningen die  $120^\circ$  ten opzichte van elkaar in fase verschoven zijn. In het net is verder nog een zogenaamde 'nulleider' aanwezig (afb. I-1). Kleinegebruikers, zoals particuliere huishoudens, zijn aangesloten tussen één faseleider en de nulleider. De wisselspanning varieert dan tussen de  $+308$  en  $-308$  V. De effectieve waarde bedraagt  $220$  V.

De drie in fase verschoven wisselspanningen worden 'draaistroom' genoemd. Het aantrekkelijke ervan ligt in de eenvoud waarmee elektromotoren op basis hiervan geconstrueerd kunnen worden. De frequentie van de wisselspanning bedraagt  $50$  Hz. Het gebruik

van wisselspanning biedt veel voordelen, bijvoorbeeld omdat met transformatoren de spanning kan worden verhoogd of verlaagd.

Meestal geeft men als sterkte van de wisselspanning een effectieve waarde op. Dat is de waarde van een gelijkspanning die per seconde evenveel energie afgeeft aan dezelfde Ohmse belasting als de wisselspanning.

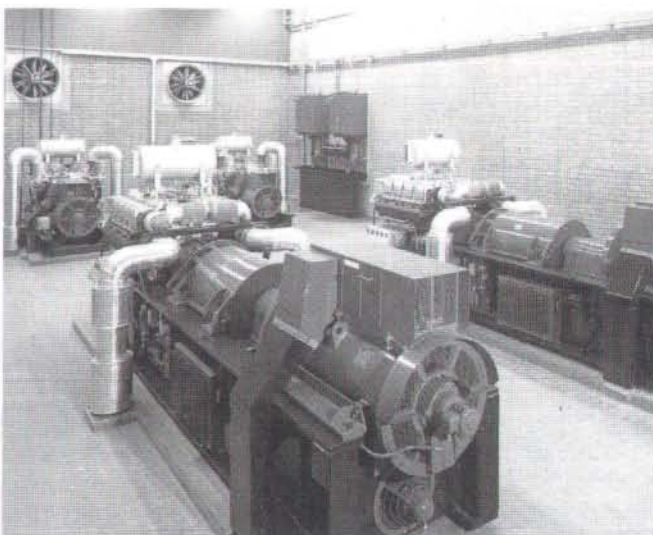
I-1. Drie wisselstroomgeleiders hebben ieder een effectieve spanning ten opzichte van de nulleider van  $220$  V. Onderling leveren ze  $380$  V<sub>eff</sub>.







1. De Drechtunnel onder de Oude Maas. De tunnel is voorzien van ononderbroken stroomvoorziening om de verlichting en signalering te garanderen.



2

2. De noodstroomvoorziening van de Drechtunnel bestaat uit twee diesel-UPS-systemen van 300 kVA. De dieselmotoren zijn zilverkleurig, daarvoor staan de inductiekoppeling en de synchrone motor, als op de doorsnedetekening in afbeelding 3.

verbeteren. Aan de kritische gebruiker moet elektriciteit van een constante, hoge kwaliteit worden geleverd, zonder de kleine onregelmatigheden die in het openbare net voorkomen. In de tweede plaats moet het systeem de levering van energie zonder haperen kortstondig of langdurig overnemen indien de energievoorziening via het openbare net uitvalt, of is gestoord.

Er zijn twee soorten UPS-systemen. Eén waarbij verbetering van de energievoorziening wordt bewerkstelligd door doorlopende totale energie-omzetting (seriesysteem), en een ander systeem waarbij de energievoorziening wordt verbeterd zonder totale omzetting. Dit laatste gebeurt in het parallelsysteem van Holec. Aan het seriesysteem met totale omzetting kleven grote nadelen. Immers als de geleverde netspanning en netfrequentie wel van goede kwaliteit zijn, vindt er toch totale omzetting plaats, hetgeen gepaard gaat met rendementsverlies. Ook staat of valt de energievoorziening met de betrouwbaarheid van onderdelen in het systeem: een enkele storing in het serie-

systeem betekent storing in de energievoorziening. Het parallelsysteem van Holec heeft deze nadelen niet, zoals hieronder verder wordt uiteengezet. Dit systeem is al vele jaren in gebruik op een groot aantal plaatsen in binnen- en buitenland. De uitgebreide ervaring die is opgedaan met de toepassing van dit parallelsysteem heeft geleid tot een produkt dat alle functies van UPS optimaal vervult.

### Kwaliteitsverbetering

Kwaliteitsverbetering van de elektrische energie wordt in het Holec-parallelsysteem verkregen door toepassing van een zogenaamd *dynamisch filter*. Dit filter bestaat uit een smoorspoel en een *synchrone machine*. Deze gepatenteerde schakeling houdt de uitgangsspanning constant. De uitgangsspanning van een synchrone generator ligt immers vast en daarmee dus ook de uitgangsspanning van het UPS-systeem. Dit filter verkleint spanningswisselingen van tien procent aan de ingang tot ongeveer één procent aan de uitgang.



De generator biedt nog een ander voordeel: het leveren van de zogenaamde *blindstroom*. De gebruiker zal in vrijwel alle gevallen een stroom opnemen welke niet geheel in fase is met de spanning. De component in deze stroom die een fasehoek van  $90^\circ$  maakt met de spanning wordt de blindstroom genoemd. Deze levert geen bijdrage aan het verbruik, maar bepaalt wel mede de grootte van de totale stroom die door de kabels loopt. Soms kunnen hiervoor door het energiebedrijf extra kosten in rekening worden gebracht, omdat transformatoren en kabels zwaarder moeten zijn dan strikt nodig voor het energieverbruik waar de klant normaal voor betaalt. De synchrone generator neemt de levering van de blindstroom over, zodat het aan de kant van het net lijkt alsof de belasting slechts een zuivere weerstand is. De generator vormt in combinatie met de smoorspoel een perfect filter, dat vrijwel alle hoge harmonisch vervormingen uitfiltert. Bovendien creëert dit systeem zelf geen netvervuiling. De combinatie generator/smoorspoel is een eenvoudige en vooral betrouwbare constructie, waarbij de energie zonder enige omzetting (geen omzettingsverliezen, dus hoog rendement), zonder vervorming en met de juiste spanningswaarde aan de kritische gebruiker wordt aangeboden. Daarmee wordt volledig voldaan aan de eerste eis waaraan een

UPS dient te voldoen: het verzorgen van schone spanning.

Om aan de tweede eis te voldoen, het zonder haperen overnemen van de energievoorziening bij een storing of onderbreking in het openbare net, zijn in het parallelsysteem voorzieningen getroffen voor het opslaan, het vrijmaken en leveren van reserve-energie.

### Energie-opslag

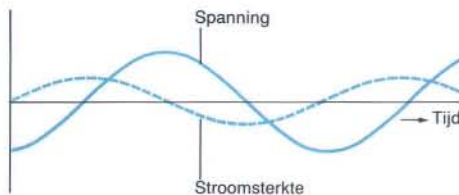
De opslag van energie kan op twee manieren worden verwezenlijkt: in accu's of in een vliegwielen. In het eerste geval wordt de energie chemisch opgeslagen, in het tweede geval is er sprake van opslag van kinetische energie. De werkwijze van beide systemen wordt achtereenvolgens behandeld.

3 en 4. Doorsnede en schema van een UPS-systeem met een dieselmotoraandrijving. Rechts staat de door het net gevoede synchrone machine die het buitendeel (in groen) van de in het midden staande inductiekoppeling aandrijft. Het geheel draait met 1500 toeren per minuut. Het binnendeel van de inductiekoppeling (blauw) draait met 1500 omwentelingen ten opzichte van het buitendeel, in absolute zin is de draaisnelheid dan 3000 omw/min. De snelheid wordt verkregen door een vierpolige draaistroomwikkeling op het buitendeel, die bekrachtigd wordt door het net. De dieselmotor (links, geel) is via een vrijloopkoppeling met de inductiekoppeling verbonden.

## Probleemloze elektriciteit?

Hoewel de particuliere gebruiker daar weinig van merkt, verloopt de levering van elektrische energie niet altijd even rimpelloos. Het is vrijwel onmogelijk om over het hele net en op elk tijdstip de spanning constant te houden. Sommige gebruikers bevinden zich op grote afstand van de centrale of van een transformator en krijgen als gevolg van verliezen in de leidingen een te lage spanning. De belasting van het net verandert bovendien voortdurend, waardoor eveneens de spanning varieert. Een verloop tussen de waarden 200 en 220 V is in een etmaal tijd best mogelijk; voor gebruikers met kritische apparatuur kan dit nare gevolgen hebben.

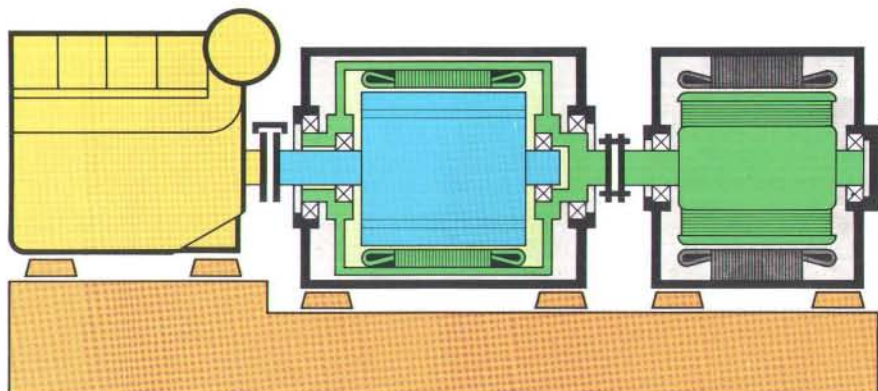
Behalve het geleidelijke verloop van de span-



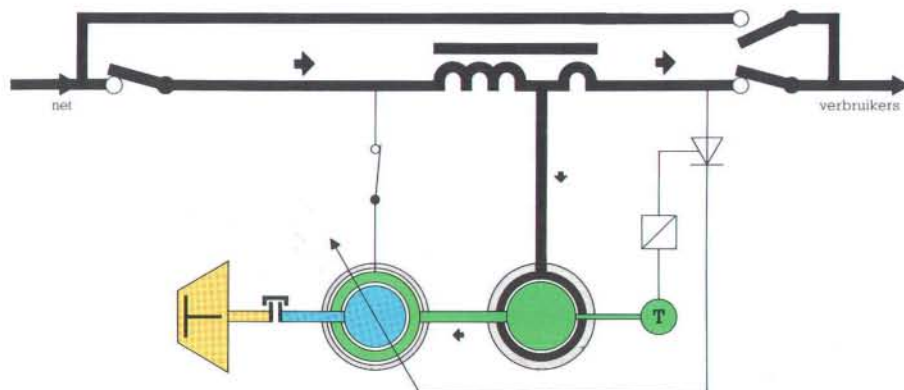
II-1. Blindstroom treedt op als spanning en stroomsterkte uit fase zijn.

ning kunnen er ook pieken optreden. Die kunnen veroorzaakt worden door het in- of uitschakelen van inductieve belastingen, zoals bijvoorbeeld motoren. In korte tijd kan de spanning daardoor oplopen tot 1000 V, wat voor gevoelige





3



4

apparatuur vervelend kan zijn. In het net zijn daarnaast ook bronnen van hoogfrequente wisselspanningen aanwezig. Een voorbeeld hiervan zijn de vonkende collectoren van kleine motoren. Op de plaats van de gebruiker levert het net dan geen mooi sinusvormige spanning af, maar een aanzienlijk 'vervuilde' spanning. Erg bekend in de kantooromgeving is het uitvallen van computerapparatuur als de schoonmaakkploeg aan het stofzuigen slaat.

Als er zware elektromotoren in het net zijn opgenomen, in het algemeen wanneer er grote inductieve belastingen zijn, ontstaat een faseverschuiving tussen stroom en spanning. Om dezelfde hoeveelheid energie te leveren moet dan een veel grotere stroomsterkte lopen. Men zegt dan dat er blindstroom loopt. De nutsbedrijven leggen veelal contractueel vast dat de gebruikers het

faseverschil tussen stroomsterkte en spanning binnen bepaalde grenzen moeten houden.

Tenslotte kan de continuïteit van de elektriciteitslevering een probleem zijn. Een elektrisch net — vooral als het uitgevoerd is met bovengrondse leidingen, zoals in België — is kwetsbaar. Op het net kan blikseminslag plaatsvinden, kabels kunnen breken, generatoren in een centrale kunnen uitvallen. In dergelijke gevallen kan zich een meestal kortstondige onderbreking van de stroomvoorziening voordoen. Kritische gebruikers moeten voorzieningen treffen om deze onderbrekingen in elektrische energielevering gedurende korte, en soms langere, tijd te overbruggen. Een luchthaven kun je niet sluiten omdat een graafmachine net een elektrische kabel heeft kapotgetrokken. Een operatie kan niet even worden opgeschort als een centrale uitvalt.



## De machine

De ingewijden in het elektriciteitswereldje spreken geheimtaal. Hier zijn de vaktermen zoveel mogelijk vermeden. Het gebruikte woord machine betekent echter wat anders dan in het dagelijks spraakgebruik.

Machines zijn alle apparaten waarin door de statorwikkeling een draaiend magnetisch veld wordt opgewekt, het draaiveld genoemd. In een synchrone machine heeft de rotor dezelfde hoeksnelheid als het draaiveld. Bij kleine synchroonmotoren, in klokken bijvoorbeeld, is de rotor vaak een permanente magneet. Bij grotere synchroonmotoren bestaat de rotor uit een draaiende elektromagneet, gevoed met gelijkstroom. Als

een synchrone motor wordt belast ontstaat een hoekverschil tussen de draaiende rotor en het draaiveld. Dit levert het aandrijvend koppel. Als het hoekverschil te groot wordt, valt de rotor stil. Een synchrone motor kan maar met één toerental draaien.

In een asynchrone motor, ook wel een inductiemotor genoemd, draait de rotor met een andere hoeksnelheid dan het draaiveld. De rotor kan uit een kooi van geleiders opgebouwd zijn. Door de inductie lopen hierin stromen die een magnetisch veld opbouwen dat het aandrijvend koppel levert. Bij belasting daalt het toerental van de motor. Het verschil in hoeksnelheid tussen de draaiende rotor en het draaiveld neemt dan toe. Men zegt dan dat de slip toeneemt.

### *Energie-opslag in accu's*

Voor opslag van energie in accu's is een omzetting van wisselspanning naar gelijkspanning nodig. In een UPS-systeem is echter ook, in noodbedrijf, een omzetting van gelijkspanning naar wisselspanning nodig. De omzetting in twee richtingen kan uitstekend worden uitgevoerd door een zogenoemde roterende omzetter. Met deze roterende omzetter is in combinatie met het dynamische filter een compleet UPS-systeem gerealiseerd. Bij normaal netbedrijf drijft de synchrone machine van het filter een gelijkstroommachine aan. Deze gelijkstroommachine functioneert als een dynamo waarmee de accu's worden geladen. Zijn de accu's eenmaal geladen, dan is er slechts weinig energie nodig om de lading op peil te houden, zodat beide machines bijna in nullast draaien en dus slechts weinig verliezen veroorzaken.

Wanneer een storing in de netspanning optreedt, neemt het UPS-systeem de energievoorziening over. Dat gebeurt als volgt. Al voordat de storing optreedt draaien beide machines permanent met 1500 omwentelingen per minuut. Een ontoelaatbare spannings- of frequentie-afwijking heeft tot gevolg dat de hoofdschakelaar het UPS-systeem loskoppelt van het gestoorde net.

De belasting die op het UPS-systeem is aangesloten, is nu alleen nog verbonden met de

synchrone machine en zal daaraan energie onttrekken. Hiervoor wordt de nu als generator werkende synchrone machine door de gelijkstroommachine aangedreven. De dynamo zelf is omgeschakeld naar motorbedrijf en wordt gevoed uit de accubatterij. Een regelcircuit houdt het motortoerental en daarmee de frequentie constant. Dit gaat zo lang door tot de accu's leeg zijn of de netspanning terugkeert. Wanneer dit laatste is gebeurd en de netspanning voldoende stabiel blijkt te zijn, zal een parallelschakeltoestel de hoofdschakelaar sluiten op het moment dat netspanning en UPS-spanning in fase zijn. Het net voedt vanaf dat moment de belasting weer rechtstreeks.

In principe is dit systeem toepasbaar voor een grote vermogensreeks. In de praktijk worden bij Holec batterij-UPS-systemen van 20 tot maximaal 150 kVA gemaakt. Bij grotere vermogens en lange onderbrekingstijden worden de accu's erg groot en en daardoor ook duur. Bovendien is een grote batterijruimte noodzakelijk.

Doordat de capaciteit van accu-UPS-systemen beperkt wordt door de batterijen, wordt voor een ononderbroken voeding, die lange tijd stroom moet kunnen leveren, gebruik gemaakt van een noodnet of een noodstroomaggregaat. Holec's accu-UPS-systeem gebruikt bijvoorbeeld een noodstroomvoorziening met gelijkspanning in plaats van wisselspanning.



Daartoe wordt de energie van een noodstroomaggregaat of noodnet eerst gelijkgericht. Hiermee wordt voorkomen dat noodstroomaggregaten, waarvan de spanning en frequentie vaak onvoldoende stabiel zijn, hun stroom direct aan de kritische gebruiker leveren.

### Het Holec diesel-UPS-systeem

Om het gebruik van accu's en losse noodstroomaggregaten te voorkomen, kan in een roterend UPS-systeem ook een dieselmotor worden geïntegreerd. Daarbij moet dan wel voor een hoeveelheid terugwinbare energie gezorgd worden die gebruikt kan worden in de tijd dat het net al is uitgevallen, maar de dieselmotor de energielevering nog niet heeft overgenomen. Hiervoor kan een vliegwiel dienen.

Indien het vliegwiel op de generatoras gemonteerd is, en als eis geldt dat de uitgangsfrequentie niet meer dan 1% mag afwijken, kan slechts 2% van de kinetische energie nuttig worden gebruikt. Daarom past Holec een vliegwiel toe dat vrij draait ten opzichte van de generatoras. Dit systeem wordt inductiekoppeling genoemd.

De opslag van energie vindt plaats in de rotor van een a-synchrone (kortsluit-anker) motor. De massa van deze rotor vormt het vliegwiel. De stator van de a-synchrone motor is echter uitwendig ook van lagers voorzien en kan daardoor zelf binnen een beschermingshuis ronddraaien. Deze stator is gekoppeld aan de as van de synchrone machine die als motor met precies 1500 omwentelingen per minuut draait. Binnenin deze stator draait de rotor ook met bijna 1500 toeren ten opzichte van

5



5. Computercentra zijn zeer gevoelig voor stroomstoringen. Bij een echte stroomonderbreking gaan alle gegevens in het werkgeheugen verloren. No-breaksystemen zijn daarom geïnstalleerd bij alle grote computercentra. Op de foto het interieur van het rekencentrum van de AMRO-bank in Amstelveen.



de stator, zodat de rotor in absolute zin met een toerental van bijna 3000 omwentelingen per minuut draait. De rotor draait vrij en fungeert bij dit hoge toerental als een uitstekende opslagplaats van energie.

De energie die in de vrijdraaiende rotor is opgeslagen moet bij overgang naar noodbedrijf aan de generator worden overgedragen. Om deze overdracht van energie tot stand te brengen wordt gebruik gemaakt van het 'Eddy-stroom'-principe. Door een tweede wikkeling, naast de draaistroomwikkeling, wordt een gelijkstroom gestuurd. Deze eveneens in de roterende stator aangebrachte wikkeling creëert een magnetisch veld waardoor de rotormassa wordt afgeremd. Doordat de snelheid afneemt, komt energie vrij welke de synchrone generator aandrijft. Een regelsysteem zorgt ervoor dat de gelijkstroom precies zoveel energie vrijmaakt als nodig is om bij de gegeven belasting de generator exact 1500 omwentelingen per minuut te laten draaien. Als het

rotortoerental tot 1540 gedaald is, en dus bijna stilstaat ten opzicht van de stator, is 73% van de opgeslagen energie aan het vliegwiel onttrokken.

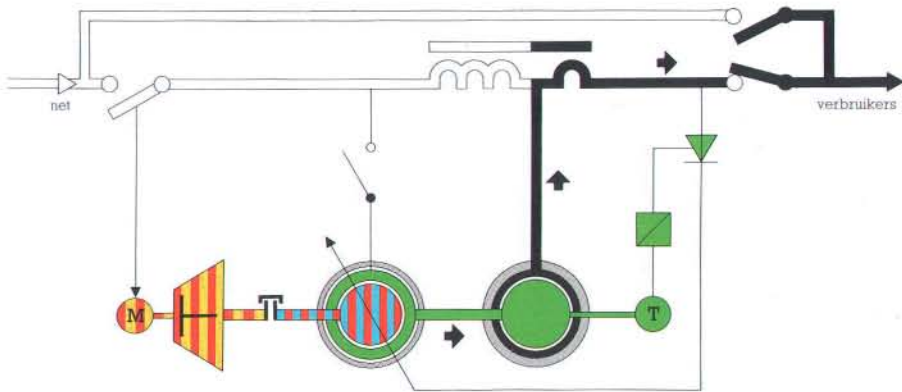
Zoals al is opgemerkt kan bij gebruik van een vliegwiel op de generatoras slechts 2% van de energie nuttig gebruikt worden zonder dat de frequentie in gevaar komt. Bij het systeem met inductiekoppeling kan het vliegwiel liefst 36 maal kleiner en lichter zijn dan een vergelijkbaar vliegwiel op de generatoras. De grote besparing in afmetingen en gewicht bieden uiteraard grote voordelen voor de mechanische constructie.

De inductiekoppeling kan bij vollast gedurende circa drie seconden energie leveren. Een dieselmotor moet binnen deze tijd in staat zijn de energielevering zonder onderbreking over te nemen. Daartoe wordt onmiddellijk na het constateren van een stroomstoring de dieselmotor opgestart. De dieselmotor bereikt, onbelast, binnen 1,5 seconde een snelheid van

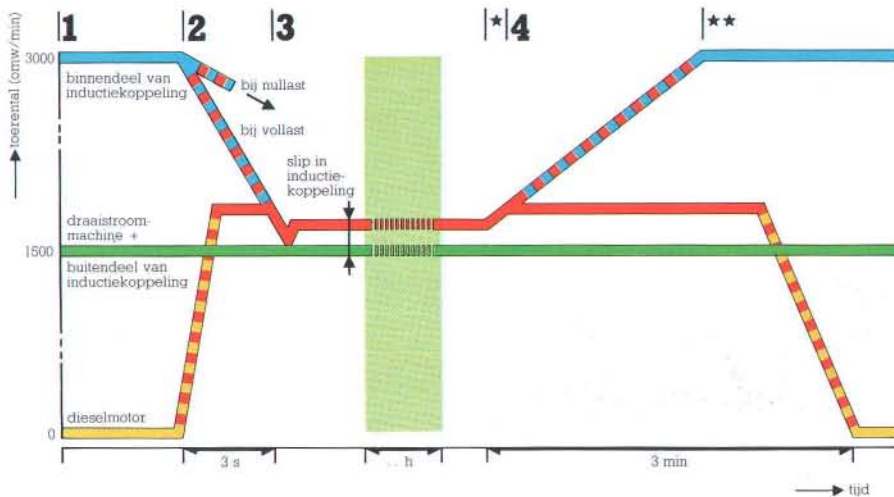
6







7



8

6. Zeeschepen krijgen bij het naderen van een haven een loods aan boord. De loodsen en de verkeersleiders, op de foto die in IJmuiden, zijn afhankelijk van radar- en communicatiesystemen. Die kunnen weer niet zonder stroom.

7. Bij wegvallen van de netspanning levert het binnendeel van de inductiekoppeling, door zijn vliegwielfunctie, energie aan de synchrone motor die dan spanning aan het net levert. Het toerental valt daarbij in korte tijd terug van 3000 tot 1500 omwentelingen per minuut. Ondertussen wordt de dieselmotor gestart die de aandrijving van de synchrone generator gaat verzorgen.

8. De verandering van toerental van de verschillende onderdelen van een no-breaksysteem in grafiek uitgezet als functie van de tijd, bij opstarten, bij noodstroomvoorziening en bij herstel van de netspanning. Er zijn overigens verschillende tijdschalen gehanteerd: het opstarten van de noodstroomvoorziening gaat in werkelijkheid zestigmaal zo snel als het stopzetten.

1600 omwentelingen per minuut. Tussen dieselmotor en rotor, het vliegwiel, bevindt zich een vrijlooppkoppeling die mechanisch aangrijpt wanneer het toerental van de rotor tot 1600 gedaald is. Daarna daalt het toerental van de belaste dieselmotor en de rotor tot 1540 omwentelingen per minuut. Dit oversynchrone toerental laat ruimte voor de zogenoemde slip. Dit is een verschil in toerental dat nodig is om de energie van de dieselmotor via de inductiekoppeling elektromagnetisch naar de generator over te dragen. Het systeem werkt nu als een noodstroomaggregaat, waarbij echter de frequentie niet geregeld wordt door het dieselmotortoerental, maar door de slipregeling in de inductiekoppeling. De energielevering is



zonder onderbreking overgenomen en kan voor onbeperkte tijd worden voortgezet. Een extra noodstroomaggregaat is dus niet nodig.

Aangezien energie uit het net meestal goedkoper is dan zelf opgewekte energie, wordt bij terugkeer van de stabiele netspanning weer zo snel mogelijk teruggeschakeld naar netbedrijf. Voordat de hoofdschakelaar weer kan worden gesloten, moeten netspanning en UPS-spanning echter in fase zijn. Het parallelschakeltoestel controleert dit en bekrachtigt de hoofdschakelaar wanneer de fasen overeenkomen. De energie wordt dan weer direct vanuit het



10



9

9 en 10. In de kelder van het hoofdkantoor van de Postbank in Amsterdam staan vier 335 kVA UPS-systemen. Op de foto zijn er drie afgebeeld.

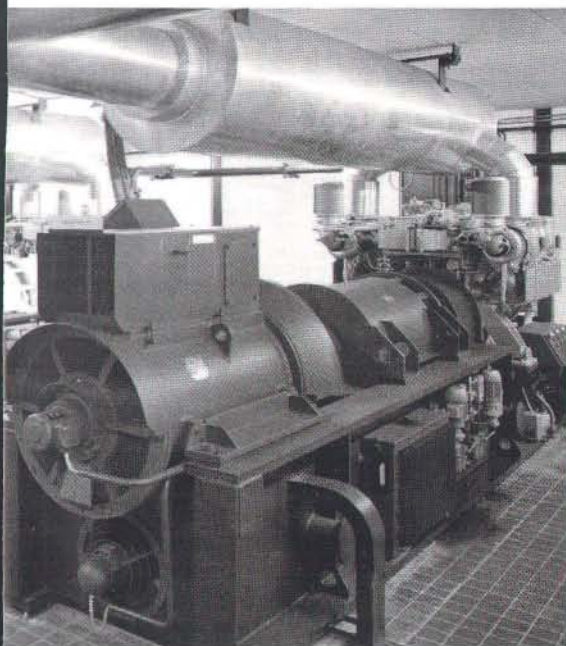
net aan de gebruiker aangeboden. Ook de draaistroomwikkeling van de inductiekoppeling wordt weer bekrachtigd en de gelijkstroom is afgeschakeld. De rotor neemt in snelheid toe en komt boven de nullastsnelheid van de dieselmotor, die daardoor van de rotor wordt losgekoppeld, maar nog wel blijft draaien. Na circa twee minuten is het maximale roortoerental bereikt. Dit relatief langzame aanlopen voorkomt een hoge aanloopstroom. Pas wanneer voldoende energie in de rotor is opgeslagen, wordt de dieselmotor stilgezet. Het systeem is nu weer in netbedrijf, werkt weer als filter en is gereed om een volgende onderbreking in de energielevering op te vangen.

Om tijdens onderhoud het systeem zonder

onderbreking uit bedrijf te kunnen nemen is een bypass-schakeling aangebracht. Ook wanneer tijdens netbedrijf het UPS-systeem defect mocht raken, wordt automatisch op deze bypass overgeschakeld.

Diesel-UPS-systemen kunnen voor vermogens van 100 tot 500 kVA worden geleverd. Voor hogere belastingen worden tot vier eenheden van gelijk vermogen parallel geschakeld. Viermaal 400 kVA levert dan 1600 kVA. Redundant bedrijf is het beschikbaar hebben van een reserve-eenheid. Is bijvoorbeeld het vermogen van 2000 kVA nodig dan worden vijf eenheden van 500 kVA parallel geschakeld, en kan zonder gevaar één eenheid buiten bedrijf worden gesteld.





### Omzetten van spanning en frequentie

Het Holec-UPS-systeem geeft de door het net geleverde ingangsspanning en -frequentie met dezelfde nominale waarde door. Wanneer een wijziging in spanning- of frequentiewaarde noodzakelijk is, komen de hierna beschreven methoden in aanmerking.

Wanneer de gebruiker een andere spanning nodig heeft, is het gebruik van een transformator een eenvoudige oplossing. Transformatoren kunnen worden toegepast om spanningsniveaus optimaal aan te passen aan de netspanning, de werkspanning en de uitgangsspanning van het UPS-systeem.

UPS-systemen worden gefabriceerd voor bedrijf met 50 of 60 Hz. Moet de uitgangsfrequentie afwijkend zijn, zoals soms bij computers voorkomt die met 400 Hz worden gevoed, dan dient een frequentie-omzetter te worden toegepast. Een bypass-schakeling is door de onderling verschillende frequenties dan niet meer toepasbaar. Roterende UPS-systemen met gelijke ingangs- en uitgangsfrequentie en -spanning, en dus met bypass-schakeling, zijn uitstekend geschikt voor het voeden van betrouwbare roterende frequentie-omzetters.

Het beschreven roterende UPS-systeem is gebaseerd op een principe, waarbij een niet-scheidend filter gecombineerd wordt met een reserve-energiebron. Het opwekken van energie ten behoeve van de kritische gebruiker gebeurt niet in het hoofdstroomcircuit, maar parallel hieraan. Als reserve-energiebron kunnen batterijen worden gebruikt die via een roterende wisselstroom-gelijkstroomomzetter worden geladen en ook met dezelfde omzetter worden ontladen. Een andere reserve-energiebron wordt gevormd door een vliegwiel dat met kinetische energie wordt geladen uit het net en waarmee bij ontlading weer wisselspanning wordt opgewekt. Zodra de kinetische energiebron is ontladen, neemt een dieselmotor de energielevering over. De voordelen hiervan:

- geen energieverliezen door omzetting;
- een minimum aan componenten, waardoor een hoge betrouwbaarheid wordt bereikt;
- de toepassing van bekende en betrouwbare technieken, die leiden tot weinig en eenvoudig onderhoud.

Bovendien geldt voor het Diesel-UPS-systeem:

- dat door integratie van een dieselmotor separate noodstroomaggregaten overbodig worden;
- dat grote vliegwielen niet nodig zijn, waardoor mechanische problemen en trillingen worden voorkomen;
- dat batterijen achterwege kunnen blijven, waardoor aanmerkelijke besparingen in ruimte, onderhoud en vervanging worden verkregen.

*De redactie dankt drs. J.C.J. Masschelein, natuurkundedocent aan de Philips van Horne Scholengemeenschap te Weert voor didactische adviezen bij de totstandkoming van dit artikel.*

### Literatuur

Mijnarends H. Opwekking en distributie van elektriciteit. Natuur en Techniek 1981: 49; 7, pag. 540-599.

### Bronvermelding illustraties

Paul Mellaart, Maastricht: opening, pag. 46-47.

Holland Signaal BV, Hengelo: afb. 6.

De overige illustraties zijn afkomstig van HOLEC, Amersfoort.





**J. te Velde,  
K.Th. Eisses,  
A.J. Klarenberg**

*Vakgroep populatie- en evolutiebiologie  
Rijksuniversiteit Utrecht*

Zowel van opzij als van voren gezien, slaagt deze mot erin de vorm aan te nemen van de dode twijg waar hij op zit. De perfectie van de camouflage gaat zo ver, dat met de achterrand van de vleugel nog de indruk wordt gewekt dat de twijg daar afgebroken is. Deze aanpassing vergroot de overlevingskansen van het dier, omdat zijn natuurlijke vijanden het zo niet gauw zullen vinden.



# AANPASSINGEN

Bijblijven  
in je omgeving



Alle organismen zijn min of meer aangepast aan het milieu waarin ze leven. Het tot stand komen van deze aanpassingen is een centraal gegeven van de evolutietheorie. Aanpassingen kunnen ons ook

iets leren over de relatie van een organisme met de buitenwereld, waarin het zich moet handhaven. In dit artikel wordt het begrip aanpassing vanuit drie verschillende invalshoeken bekeken.

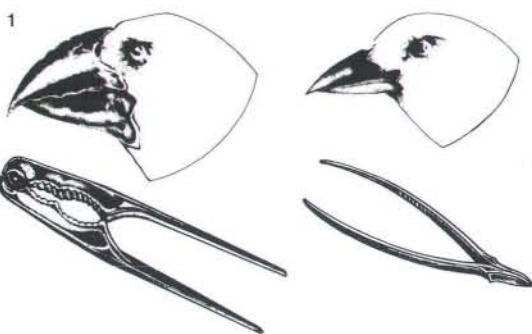


Naar schatting vijf miljoen soorten bevolken onze aarde. Een veelvoud daarvan heeft ooit geleefd: in het hooggebergte en in de diepzee, in tropische regenwouden en rond kale rotsblokken in de savanne, in zoet en zout water, in hete bronnen en in ijskoud water. Een zeer grote verscheidenheid aan vormen en gedragingen doet zich aan ons voor. Al die miljoenen soorten komen niet overal voor en kunnen dat ook niet, gezien hun verschil in lichaamsbouw en hun fysische, biochemische en gedragseigenschappen.

Het vermogen van levende wezens om zichzelf enige tijd in een bepaalde omgeving in leven te houden en door het produceren van nakomelingen de soort in stand te houden, duiden we aan met de term *aanpassing of adaptatie*. Het organisme is aangepast aan de specifieke omstandigheden van dat milieu, in de ecologie ook wel aangeduid als ecologische niche. Een soort kan gespecialiseerd zijn ten aanzien van sommige omgevingsfactoren, bijvoorbeeld één voedselbron, en een generalist zijn ten aanzien van andere factoren, bijvoorbeeld goed bestand tegen verschillende temperaturen. Specialisten zijn kieskeuriger en hebben dientengevolge vaak een kleinere verspreiding dan generalisten.

Het begrip *aanpassing* is niet weg te denken als we het hebben over evolutie. Voor Darwin, de grondlegger van de huidige evolutietheorie, was het een kernbegrip in zijn verklaring van de oorzaak van de historische verandering van organismen. Darwin zegt in feite, dat niet alle organismen even goed aangepast zijn. Aanpassingen zijn dus niet perfect, maar relatief. Dat leidt tot selectie, natuurlijke selectie. Net als bij kunstmatige selectie bij huisdieren zou dit moeten leiden tot betere aanpassing van de desbetreffende eigenschappen. De best aangepaste individuen produceren dan de meeste nakomelingen. Maar men kan ook zeggen dat deze dieren het best zijn aangepast, omdat zij de meeste nakomelingen produceren: een cirkelredenering dus. Reproductief succes zegt op zich dus weinig over aanpassing. Zo is het geen toeval dat vissen vinnen, zehonden en walvissen zwempoten en pinguïns paddles hebben en dat zelfs zeeslangen overlans afgeplat zijn.

'Aanpassing' moet dus gekoppeld worden aan functie. Je zou er als het ware een ingenieur in plaats van een bioloog op los willen laten. Die zou dan, na een zeer grondige analyse,



De grote grondvink heeft een grote, sterke kraaksnavel: een grote 'notenkraker'.

Het insectenvinkje heeft een kleine, puntige snavel: een 'pincet'.

ook moeten kunnen voorspellen, welke individuen het beste aangepast zijn en dus de grootste voortplantingskansen hebben.

Door de functionele relatie tussen eigenschappen van het organisme en eigenschappen van het milieu te begrijpen, zijn in principe voorspellingen op korte termijn te maken, waarmee de theorie getoetst kan worden. Ook hierbij zijn de problemen niet gering. Veel eigenschappen zijn betrokken bij meerdere functies en daardoor meestal geen ideale aanpassing voor al die functies. De groene zeeschildpad gebruikt bijvoorbeeld zijn zwempoten ook om te lopen. Bovendien moet je, als je aanpassingen bekijkt, het organisme als het ware ontleden in delen. Maar waar stop je? Wat hoort er nog wel en niet bij? En kijk je dan wel naar de goede eigenschap? Gele uien zijn beter resistent tegen een bepaalde schimmelm ziekte dan de witte. Verschil in kleur kan dus een afgeleide zijn van een bepaald biochemisch verschil, zonder zelf betekenis te hebben.

De eigenschappen van een organisme staan niet los van elkaar. Grootte en vorm van een lichaam hebben consequenties voor de zwaarte van de poten. Niet alleen in de vorm, ook in genetisch en ontwikkelingsbiologisch opzicht zijn eigenschappen niet onafhankelijk. Wordt er geselecteerd voor een bepaalde eigenschap, dan kan een andere eigenschap meegetrokken worden. Een organisme is een optelsom van vele eigenschappen. De resultante van al die eigenschappen bepaalt als het ware de uiteindelijke aanpassing. Organismen zijn niet evolu-





De grote boomvink heeft een stevige, scherpe snavel: een 'blikshaar'.

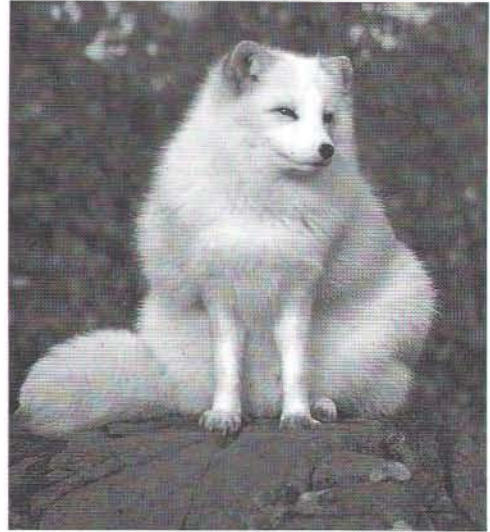
De kleine grondvink heeft een kleine stevige kraaksnavel: een kleine 'notenkraker'.

De cactusvink heeft een lange stevige snavel om te wroeten: een dunne 'tang'.

1. De snavels van Darwinvinken zijn aangepast aan hun voedsel. De grote grondvink eet harde noten, het insectenvinkje kleine insecten, de grote boomvink grote insecten, de kleine grondvink kleine harde zaden en de cactusvink nectar en cactuszaad.

2. De oren van een vos spelen een rol bij de temperatuurregulatie. Een woestijnvos (links) heeft grote oren, waardoor een groot koelend oppervlak ontstaat. Een poolvos (rechts) daarentegen heeft juist kleine oren om afkoeling tegen te gaan. Een vos uit onze streken is een tussenvorm.

2



tionair kneedbaar in alle gewenste richtingen. Hun historische architectuur, bijvoorbeeld in de groep van de gewervelden, stelt grenzen aan de evolutionaire mogelijkheden.

Het milieu waaraan aangepast wordt, kent eveneens vele eigenschappen. Belangrijk is hoeveel je hiervan bij je analyse wilt betrekken. En hoe de interactie is tussen verschillende factoren, zoals temperatuur en voedsel.

De problemen zijn dus zeer omvangrijk. Maar door het bestuderen van aanpassingen kunnen we veel te weten komen over de relatie van organismen met de buitenwereld waarin

zij zich moeten handhaven. We zullen het begrip daarvoor vanuit drie invalshoeken benaderen: als evolutionair proces, als fysiologisch proces en als toestand.

### Aanpassing als evolutionair proces

Dat organismen door vele generaties selectie sterk kunnen veranderen wordt treffend geïllustreerd bij huisdieren en cultuurgewassen. De hierdoor ontstane aanpassingen zijn wel bijzonder: het zijn aanpassingen ten dienste van de mens. De mens bepaalde de richting



van de selectie. De resultaten zijn soms verbluffend. Wat te denken van de New Foundlander: die is aangepast aan zwemmen, heeft een dubbele vacht, een karakter dat er voor zorgt dat hij graag wil zwemmen en zelfs zwemvliezen tussen de tenen. Vroeger werd hij gebruikt om de netten van de vissers binnen te halen, tegenwoordig om drenkelingen uit zee te redden. Voor de schapenhouderij zijn vele honderassen geselecteerd. Zo is de Corgi speciaal gebruikt om schapen in de hiel te bijten. Vergelijkbaar is een voorbeeld uit de plantenwereld: boerenkool, spruitkool, broccoli, koolrabi, witte kool en bloemkool zijn oorspronkelijk alle afkomstig van *Brassica oleracea*, een lid van de mosterdfamilie.

Evolutie heeft betrekking op de historische veranderingen van soorten. Die veranderingen zijn niet synoniem met aanpassingen, omdat niet alle erfelijke varianten als aanpassingen beschouwd kunnen worden, maar een belangrijk deel van de evolutietheorie is hier wel op gestoeld. Geïnspireerd door het boek van Malthus (1803) over het bevolkingsvraagstuk en het gegeven dat huisdieren door kunstmatige selectie zijn veranderd, kwam Darwin (1859) tot het volgende verklaringsmodel over het ontstaan van aanpassingen:

- organismen nemen exponentieel in aantal toe onder gunstige omstandigheden;
- desondanks overleven niet alle organismen en planten niet alle zich voort: de populatiegrootte wordt beperkt door de grenzen van het milieu;
- veel eigenschappen laten variatie zien, daardoor is er verschil in overlevingskansen en voortplantingsvermogen;
- deze variatie is, op zijn minst voor een deel, erfelijk: daarom leiden verschillen in overleving en voortplanting onvermijdelijk tot erfelijke veranderingen.

Het model van Darwin vormt nog steeds de grondslag van de huidige ideeën over evolutionaire verandering. In de populatiegenetica is dit in veel details uitgewerkt. Door de opkomst van de moleculaire biologie is het mogelijk geworden veel directer naar genetische variatie te kijken, die opgespoord kan worden in enzymen en zelfs op DNA-niveau. Hoe deze variatie, op het niveau van de genen zelf vertaald wordt in uiterlijke vormen is echter voor een belangrijk deel nog duister en onderwerp van onderzoek.

De populatiegeneticus probeert te begrijpen hoe verschil in genetische variatie leidt tot verschil in overleving en nakomelingsschap in een bepaald milieu. In feite gaat het om de vraag of bepaalde individuen beter zijn aangepast dan andere en of dat leidt tot natuurlijke selectie. En: is het inderdaad zo, dat de genetische variatie van de kenmerken waar je naar kijkt, de oorzaak is van het verschil in overleving en voortplanting? In de praktijk van het onderzoek zeer lastige vragen. Twee voorbeelden van het populatiegenetisch proefdier bij uitstek, de fruitvlieg *Drosophila melanogaster*, maken dit duidelijk.

Het enzym  $\alpha$ -amylase zet zetmeel om in suiker (maltose) in de darm. Een zogenaamd regulatorgen zorgt er voor, dat dit enzym niet overal in de darm even actief is. De populatiegeneticus probeert te achterhalen of bepaalde varianten in de  $\alpha$ -amylase-activiteit voor- of nadeel geven in een bepaald milieu, met uitschakeling van mogelijke andere oorzaken. Onder specifieke omstandigheden blijken selectieve verschillen tussen de varianten op te treden, namelijk wanneer het zetmeelgehalte in het voedsel de beperkende factor voor de overleving vormt.

Een ander voorbeeld: uit selectie-experimenten blijkt dat *Drosophila* zich zeer goed kan aanpassen aan een zout milieu, zelfs tot twee maal zo zout als zeewater. In een zoutaangepaste populatie bleken afwijkende anale papillen voor te komen, organen die een rol spelen bij de regulatie van de zouthuishouding. De vraag was nu: heeft deze verandering te maken met de aanpassing aan zout milieu? Om dit probleem op te lossen werd via kunstmatige selectie in niet zout-aangepaste stammen geselecteerd voor dezelfde afwijkende anale papillen. Op deze wijze werden stammen verkregen met

4

1875







3

3. Snoepen uit een melkfles. Soms slagen dieren er op een heel aardige manier in zich aan de menselijke cultuur aan te passen. Zo hebben pimpelmezen in Engeland aangeleerd om de capsules op melkflessen door te prikken om lekker van de room te kunnen snoepen.

4. Eén eeuw teckels. De door de mens uitgevoerde selectie van huisdierrassen gaf Darwin een aanwijzing voor de mechanismen in de evolutie. Teckels zijn zo in de laatste 100 jaar lichter geworden, met nog kortere poten.



1975

dit type papillen. Bij tests op zout milieu bleken deze stammen het inderdaad veel beter te doen dan de uitgangsstam.

Om het proces van aanpassing in de natuur te kunnen begrijpen, moeten we naar evolutionaire processen kijken, die zich afspelen in relatief korte tijdsbestekken. Dergelijke processen worden met name in gang gezet door milieuveranderingen ten gevolge van de menselijke cultuur. Een voorbeeld van zo'n aanpassing is de ontwikkeling van resistentie tegen pesticiden.

Het zal duidelijk zijn, dat vooral een snelle generatiewisseling en een grote nakomelingschap, zoals bij vele insecten, snelle selectie mogelijk maakt die leidt tot een snelle aanpassing. Een populatiegeneticus wil dan weten welke (veranderde) eigenschappen tot die aanpassingen leiden. Bij resistentie zal dit veelal op biochemisch niveau gezocht moeten worden.



Aanpassingen kunnen hun voordeel verliezen als organismen migreren naar een nieuw milieu, waar deze aanpassingen niet meer nodig zijn. De selectiedruk om dergelijke eigenschappen in stand te houden valt dan weg. Zo worden bij grotvissen de ogen nog wel in het embryo aangelegd, maar in het volwassen stadium is het oog met een kapje bedekt en zijn ze blind. Een soortgelijke situatie treffen we aan bij de blinde mol: ook hij leeft in het donker.

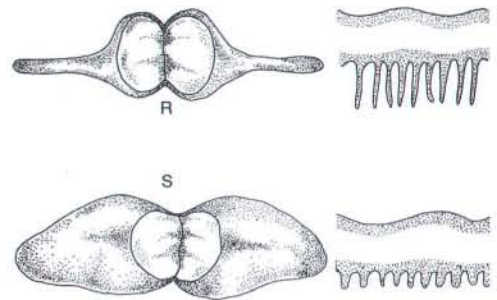
In het veroveren van nieuwe milieus spant de mens ongetwijfeld de kroon. En dat niet alleen, de mens weet dit milieu ook nog eens drastisch te beïnvloeden. Dat dit niet alleen leidt tot een veranderde selectiedruk bij andere organismen, maar ook bij de mens zelf, wordt geïllustreerd door de evolutie van het melksuiker-afbrekende enzym *lactase*. Zonder dit enzym zijn mensen niet in staat lactose (melksuiker) af te breken en kunnen dan geen melk verteren. Alle babies produceren lactase, maar het gen hiervoor wordt in veel gevallen op latere leeftijd geblokkeerd door een regulatorgen. Bij volkeren met een historie van melkveehouderij blijkt er selectie opgetreden te zijn voor varianten van het regulatorgen, die ervoor zorgen dat het enzym lactase ook op latere leeftijd geproduceerd wordt. Daardoor kunnen volwassenen ook melk drinken. Het milieu

5.  $\alpha$ -Amylase-activiteit in de darm van *Drosophila*. Door de werking van een regulatorgen is bij de vlieg van foto B het enzym alleen in de voordarm actief; bij C in de hele darm. Foto A geeft een overzicht van het darmkanaal.

6. Anale papillen van *Drosophila*. De papillen van het R-type zijn normaal; die van het S-type aan zout aangepast. Brengt men een dier van het R-type in een zout milieu dan zal er veel meer zout indringen, omdat de celwanden sterker geplooid zijn en dus een groter oppervlak hebben.

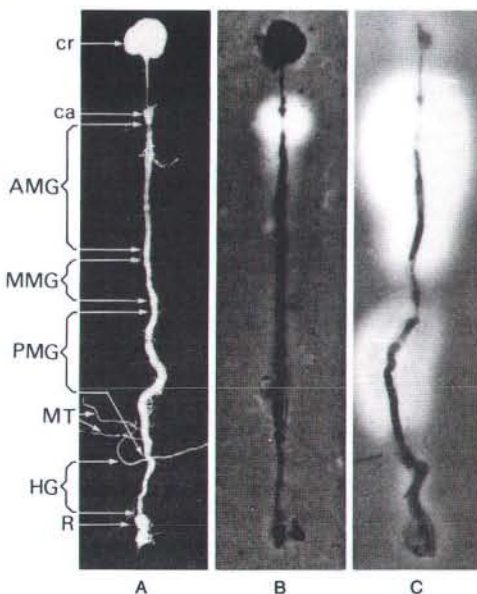
7. Een voorbeeld van een reactienorm. Het aantal facetten van het oog van *Drosophila* hangt af van de temperatuur tijdens de ontwikkeling. Dit verband wordt hier gegeven voor het wildtype (de normale) en twee mutanten.

8. Twee vissen van dezelfde soort (*Astyanax mexicanus*). De ene variant leeft in rivieren, de ander in grotten. Bij de laatste worden de ogen nog wel embryonaal aangelegd, maar ze degenereren en vergroeien met de huid.



6

5

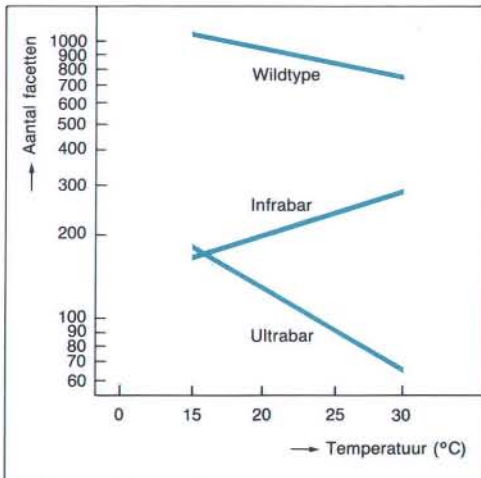


kan zich niet alleen onder invloed van historisch-geologische factoren wijzigen, maar wordt ook beïnvloed door culturele factoren. Het is een misverstand dat deze factoren alléén bij de mens een rol zouden spelen.

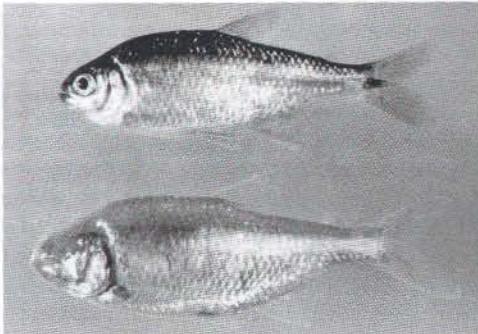
Ook bij veel diersoorten wordt een belangrijk deel van het gedrag aangeleerd en zo doorgegeven. Een bekend voorbeeld hiervan is het snoepen van de room uit melkflessen door pimpelmezen. Nadat de kunst kennelijk op één plaats was ontdekt verbreidde ze zich snel over heel Engeland.

Voor de mens is het leervermogen de belangrijkste aanpassing geworden, waardoor hij zich zo veel mogelijk uit kan breiden. Of de zo ruime exploitatie van het milieu op lange termijn ook nog succesvol zal zijn, valt te bezien. In de evolutie is de tijdelijkheid van succes overigens normaal en inherent aan het systeem zelf.





7



8

### Aanpassing als fysiologisch proces

Het voorgaande deel ging over het proces waarmee eigenschappen van organismen in de loop van de evolutie gestalte krijgen en in de populatie vastgelegd zijn. Hiermee is echter niet alles gezegd. Eigenschappen komen niet alleen langs genetische weg tot stand, maar ook gedurende de ontwikkeling van organismen in interactie met hun interne (in het organisme zelf) en het externe milieu. Wel is het zo, dat er een grote variatie is in de mate waarin het milieu bijdraagt aan de uiteindelijke vormgeving van een kenmerk. Sommige eigenschappen zijn zeer moeilijk te beïnvloeden, bijvoorbeeld de kleur van onze ogen, andere echter vrij gemakkelijk, bijvoorbeeld dik worden door veel te eten. Het laatste voorbeeld laat zien, dat er voor milieugevoelige eigenschappen ook erfelijke variatie is. De één

wordt van veel eten nauwelijks dikker, de ander zeer snel. Dit soort erfelijke variatie wordt uitgedrukt in *reactienormen*. De reactienorm van een genotype is een lijst of grafiek die bij alle mogelijke milieus de bijbehorende genotypen aangeeft. Als men iemands gewicht uitzet tegen het aantal genuttigde calorieën, dan vertoont iemand die gemakkelijk dik wordt een andere reactienorm dan iemand die kan eten wat hij/zij wil, zonder ooit een wijdere broek te moeten kopen. Het is niet moeilijk voor te stellen, dat in instabiele milieus plastische eigenschappen, eigenschappen die snel veranderd kunnen worden, een belangrijke aanpassing kunnen zijn. De eigenschap wordt als het ware afgestemd op de toestand van het milieu op dat moment.

Seizoenen vormen ook een instabiel moment in het milieu. Vele organismen nemen in de winter een andere gedaante aan dan in de zomer, zoals bij het seizoensdimorfisme van het verenkleed van het alpensneeuwhoen. Organismen, die in twee milieus tegelijk leven, vertonen ook plasticiteit in bepaalde kenmerken, zoals bijvoorbeeld het gelobde bovenwaterblad en het draadvormige onderwaterblad van de waterranonkel. Een voorbeeld van een snelle fysiologische aanpassing leveren platvissen, die binnen enkele uren hun kleurenpatroon aanpassen aan hun achtergrond.

Gedrag en het hieraan gekoppelde leervermogen is wel de meest plastische eigenschap. De ontwikkelingspsycholoog Piaget heeft intelligentie, bij uitstek een eigenschap die bepaald wordt door een samenspel van erfelijkheid en milieu, uitgewerkt als een aanpassingsproces. De aanpassing verloopt in diverse fasen, die ontstaan doordat een kind voortdurend creatief en actief bezig is in wisselwerking met de omgeving. In elke fase neemt zodoende de kennis van het kind toe en gaat het de omringende wereld steeds beter begrijpen. Kennis en vaardigheden moeten steeds gereorganiseerd worden, waardoor er ook voortdurend meer complexe vormen van intelligent denken en redeneren ontstaan.

### Aanpassing als toestand

Het is al eerder betoogd, dat het begrip aanpassing het beste tot zijn recht komt als het losgekoppeld wordt van evolutionair belangrijke begrippen zoals overlevingskans en

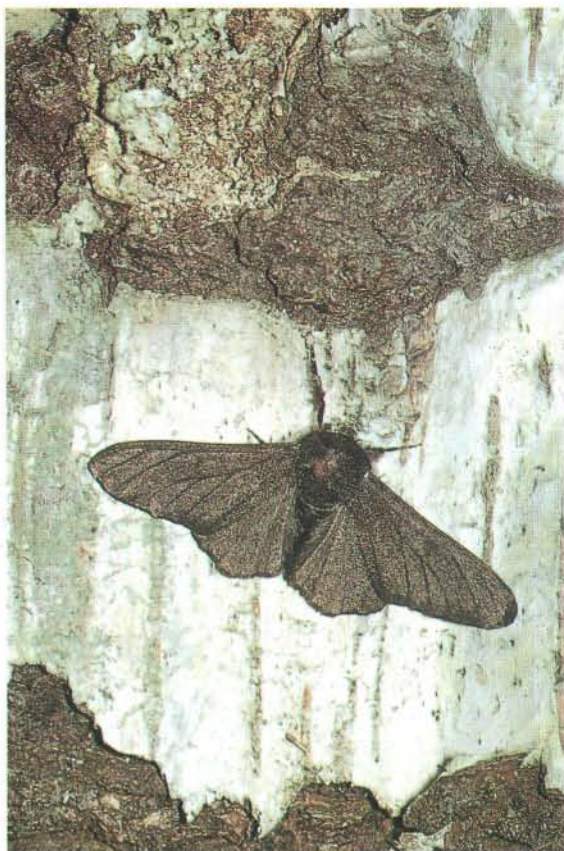


9. De bloem van een bijenorchis. Een aantal orchideeën hebben bloemen die op vrouwelijke insecten lijken. Mannelijke insecten die daarop afkomen verspreiden vervolgens het stuifmeel.

10. Industrieel melanisme. Een aanpassing aan het milieu, die zich heel snel voltrokken heeft, is het industriële melanisme bij de berkespanner *Biston betularia*. Door de luchtverontreiniging staken de lichtgekleurde vlinders ineens af tegen de beroete bomen. Vogels konden hen daar gemakkelijk vinden en opeten. Zeer snel kreeg daarop een donkergekleurde variant de overhand. Na het terugdringen van de luchtverontreiniging neemt het percentage witte berkespanners weer toe.



9



10

voortplantingsvermogen. Door aanpassing vanuit een functionele analyse te benaderen, proberen we te weten komen waarom een kenmerk eruit ziet zoals het eruit ziet. Dat willen we illustreren met een aantal voorbeelden.

Het vermogen om te vliegen sprak al lang voor de uitvinding van het vliegtuig tot de verbeelding van de mens. Het is dus niet verwonderlijk, dat men de eerste oplossingen voor dit probleem zocht in het nabootsen van vogels. Deze experimenten maakten onmiddellijk duidelijk dat voor het vermogen om te vliegen meer nodig is dan alleen vleugels. Kenmerken staan niet geïsoleerd. Sterke borstspieren en een sterk borstbeen, een licht gewicht, een goede verhouding tussen lichaams- en vleugelafmetingen en -vorm zijn andere ingrediënten voor het vliegvermogen. Een meer gedetailleerde analyse van vleugelvormen en vlieg-eigenschappen toont dit ook daadwerkelijk

aan. Door de snavelvormen van darwinvinken in de Galapagosarchipel te vergelijken met instrumenten, benaderen we aanpassingen eveneens op een functioneel technische wijze (afb. 2). Parallele evolutie van bijvoorbeeld vleugelvormen bij verschillende vogels als gierzwaluw en slechtvalk met een vergelijkbaar vliegvermogen – de slechtvalk jaagt op de behendige gierzwaluw – levert indirecte aanwijzingen voor functionele aanpassingen.

Temperatuurregulatie komt op meerdere manieren tot stand; bij vossen spelen onder andere de oren een rol. De Noordafrikaanse woestijnvos heeft zeer grote oren, waarmee overvloedige lichaamswarmte kan worden afgevoerd. Bij de poolvos zien we juist het tegenovergestelde. De oren zijn zeer sterk in afmeting gereduceerd om warmteverlies tegen de gaan. De oren van vossen uit de gematigde gebieden liggen daar tussenin.





voor bij organismen die in geheel ander milieus voorkomen, zoals vlinders. Ook hier is er sprake van parallelle evolutie.

Tot slot nog een fraai voorbeeld uit populatiegenetisch en evolutionair onderzoek aan gen-enzymssystemen van twee zeer nauw verwante *Drosophila* soorten. In wijnkelders treffen we zowel *D. melanogaster* als *D. simulans* aan. De eerste soort komt hier evenwel veel talrijker voor. *D. melanogaster* overleeft 15% alcohol (ethanol), terwijl *D. simulans* al bij 5% sterft. Het blijkt nu dat *D. simulans* veel minder goed in staat is om ethanol om te zetten. Dit verschil is terug te voeren tot verschillen in de biochemische eigenschappen van het enzym alcoholdehydrogenase (ADH). Ethanol wordt met behulp van dit enzym afgebroken tot ethanal en vervolgens tot azijnzuur, dat verder kan worden gebruikt als brandstof. Het ADH van *D. melanogaster* blijkt beide stappen van deze omzetting te kunnen realiseren, in tegenstelling tot dat van *D. simulans*. In deze soort hoopt zich het zeer giftige ethanal op. Dit voorbeeld laat zien hoe vanuit een functionele analyse over de werking van genetisch bepaalde varianten van hetzelfde enzym, het begrip aanpassing werkelijke betekenis krijgt. Een duidelijke eigenschap van een organisme wordt hier gekoppeld aan een duidelijk gedefinieerde eigenschap van het milieu.

De aanpassingen voor het leven in het water levert een overvloed aan voorbeelden op. We willen er één noemen: de neus, ogen en oren van het nijlpaard liggen keurig waterpas met het wateroppervlak, zodat hij bij het zwemmen zijn omgeving in de gaten kan houden.

De bloemen van sommige orchideeën lijken sprekend op vrouwtjesinsekten en kunnen bovendien een geurstof produceren die erg lijkt op de sekslokstoffen van de vrouwtjes. De mannetjes worden hierdoor gefopt, bezoeken de bloem en nemen stuifmeel mee. Hiermee kunnen ze een andere bloem bevruchten.

Sommige oplossingen zijn in de natuur vaker uitgevonden. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het nabootsen van ogen, die het organisme tegen zijn natuurlijke vijanden moeten beschermen. Deze ogen werken afschrikwekkend. We zien dit bij twee geheel verschillende soorten vissen, maar dit verschijnsel komt ook

#### Literatuur

British Museum. Het ontstaan van soorten. Maastricht: Natuur & Techniek, 1983.  
Klerk GJM de, Charles Darwin — Een evolutionair denker. Natuur & Techniek, 50, 3, 212-229, 1982.

#### Bronvermelding illustraties

Ardea, Londen: Opening, 2, 3, 10.  
Uit: Het ontstaan van soorten: 1, 4.  
H. Herwig, vakgroep Experimentele Dierkunde, R.U. Utrecht: 7.  
Dick Klees: Duiven: 9.  
De overige foto's zijn afkomstig van de auteurs.



Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

### De graal van de genetica

De immense kosten om het menselijk erfelijk materiaal in kaart te brengen

**D**e laatste maanden wint het idee steeds meer veld om de volledige volgorde van het erfelijke materiaal van de mens te bepalen. Dit gigantisch project werd amper een jaar geleden in de Verenigde Staten ter sprake gebracht. Al vlug werd het voorstel opgepikt door het Amerikaanse *Department of Energy*, dat veel ervaring heeft met mammoetprojecten in de elementaire deeltjes-fysica. Doch de wetenschappelijke wereld is verdeeld, zowel over het nut als de organisatie van een dergelijke *megasequencing*.

Het menselijk erfelijk materiaal bestaat uit drie miljard nucleotiden, gerangschikt op 23 chromosomen. Er bestaan vier verschillende nucleotiden, de 'letters' van het genetisch alfabet. Eén trio van nucleotiden codeert voor één aminozuur, het basisbestanddeel van de eiwitten. Zo draagt elk gen (een lineaire volgorde van trio's nucleotiden) de informatie voor één eiwit.

Met de bestaande technieken kan één persoon honderdduizend nucleotiden per jaar bepalen, voor een kostprijs van één dollar per nucleotide. Zo komt men tot dertigduizend manjaren en de astronomische kostprijs van drie miljard dollar.

In een tijd waar in het fundamenteel onderzoek de broekriem steeds meer aangehaald



Het in kaart brengen van het menselijk genoom vergt het 'lezen' van enorme aantallen sequenties. (Foto: Hoechst.)

moet worden, zou dit project onvermijdelijk geld draineren van ander biologisch onderzoek, want het is zeer de vraag of extra-fondsen zouden kunnen gevonden worden.

Over de kosten-batenanalyse bestaat heel wat discussie. Voorstanders, zoals de recombinant-DNA-pioniers Walter Gilbert van Harvard en Paul Berg van Stanford, wijzen op de enorme wetenschappelijke en medische voordelen van

een gedetailleerde kaart van het menselijk genetisch erfgoed, door Gilbert de 'graal van de menselijke genetica' genoemd. De naar schatting honderdduizend genen zouden precies kunnen worden gelokaliseerd, in hun relatie tot naburige genen. De analyse van hun organisatie in families, superfamilies en functionele eenheden kan antwoorden bieden op centrale vragen in de embryologie, neurobiologie en evolutie.



De kennis van de ligging van defecte genen biedt diagnostische en therapeutische perspectieven voor de ongeveer duizend bekende erfelijke aandoeningen. Bovendien zijn er geen nieuwe technologieën vereist. De bestaande technieken zijn routine en gebeuren voor een groot deel automatisch.

Tegenstanders zoals David Baltimore van M.I.T. zijn bezorgd om de wellicht catastrofale financiële weerslag van dit megaproject op de rest van het biologisch onderzoek. Ze zijn van mening dat, hoe dan ook, tegen het jaar 2000 het menselijk genoom wel in kaart gebracht zal zijn, bij stukjes en beetjes, door verschillende onderzoeksgroepen. Velen zien meer in het opstellen van een *fysische kaart* van het genoom, bestaande uit overlappende segmenten van

ongeveer veertigduizend nucleotiden. Het zou dan relatief gemakkelijk zijn om in deze verzameling de ligging van het gezochte gen tot één fragment terug te brengen, dat vervolgens vrij snel *gesequenced* zou kunnen worden. De kostprijs van een dergelijke fysische kaart wordt geraamd op 'slechts' tien miljoen dollar.

De vereiste infrastructuur is eveneens gigantisch. De bestaande twee DNA-databanken – de Amerikaanse GenBank in Los Alamos en de Europese bank in het European Molecular Biology Laboratory in Heidelberg – kunnen nu al amper de informatie verwerken die in talloze vakbladen verschijnt over DNA-sequenties. Een supercomputer van het Cray-type wordt noodzakelijk geacht voor de dataverwerking van

het Menselijk Genoom Project. De vraag is ook of het project in één centrum moet uitgevoerd worden, dan wel in verschillende laboratoria verspreid over de wereld.

Feit is dat in de DNA-technologie sterke vooruitgang gemaakt wordt, die de sequencing almaar vergemakkelijkt, terwijl de inspanning voor dit project de DNA-technologie in een stroomversnelling zou brengen.

Onlangs werd een automatische DNA-sequencer ontwikkeld aan de California Institute of Technology, die één miljoen nucleotiden per jaar kan bepalen voor de helft van de bestaande kostprijs. De Japanners hopen over twee jaar klaar te zijn met een apparaat dat één miljoen nucleotiden per dag zou aankunnen.

Peter Mombaerts

## Van blaam gezuiverd

**Niet de landbouw hier maar de droogte in de Sahel bedreigt onze vogels**

Jarenlang telde de vogelkenner J.J. den Held nauwgezet het aantal purperreigers in het plassengebied nabij Nieuwkoop en Maarssen, twee dorpen gelegen op de grens tussen Utrecht en Zuid-Holland. Sinds de oorlog houden vogelaars, verenigd in talloze werkgroepen, lijsten bij van broedvogels, vooral wanneer deze zeldzaam dreigen te worden.

De purperreiger is zo'n zeldzame broedvogel. Behalve in Zuid-Europa broedt deze schuwe, slanke reigersoort alleen in Nederland. Vogelaars hadden al vaak opgemerkt dat het aantal broedparen in

Nederland per jaar sterk varieerde. Meestal werd dat toegeschreven aan de noordelijke ligging van het Nederlandse broedgebied – bij achteruitgang zou de soort zich terugtrekken naar het centrum van zijn areaal, dat veel zuidelijker gelegen is.

Begin jaren zestig begon het aantal purperreigers te stijgen. Dat was een verheugende zaak temidden van de algemene teruggang van vogelsoorten, het gevolg van de mechanisering van de landbouw. In 1968 telde Den Held in zijn gebied meer dan vijfhonderd paartjes. Maar toen, binnen enkele jaren, viel het aantal

terug. In 1973 telde Den Held slechts iets meer dan tweehonderd paar. Daarna volgde weer een herstel tot 450 paar in 1976.

Den Held vond dit grillige verloop maar vreemd. Allerlei ad hoc verklaringen bevredigden hem niet: verstoring van het broedgebied, slechte zomer, landbouwgif, tegenwind bij de vogeltrek en het zogenaamde terugtrekken naar het centrum van het areaal. Hij stelde zich voor dat de purperreiger het ook wel eens moeilijk kon hebben in zijn overwinteringsgebied. In tegenstelling tot de blauwe reiger trekt de purperreiger in de



herfst ver weg. Het heeft lang geduurd voor men wist waar dit overwinteringsgebied lag, maar door ringonderzoek weet men thans dat dit de waterrijke gebieden van West-Afrika zijn, het stroomgebied van de Niger en de Senegal-rivier.

De regenval in dit gebied is zeer wisselvallig. Soms zijn er enkele natte jaren, soms zeer droge. Jammer genoeg bestaan er voor dit uitgestrekte gebied geen goede neerslag-statistieken. Den Held bedacht iets wat iedereen met gezond verstand had kunnen bedenken: hij vroeg de statistieken op van de maximale waterafvoer van de Niger en de Senegal, gegevens die wel voorhanden waren.

Tot zijn verbazing bleek zijn vermoeden vrijwel geheel juist: tijdens droge jaren, met geringe waterafvoer, liep het

aantal broedparen bij Nieuwkoop en Maarssen terug. Regende het daarentegen overvloedig in West-Afrika, dan deden de Nederlandse purperreigers het weer goed.

### Eye opener

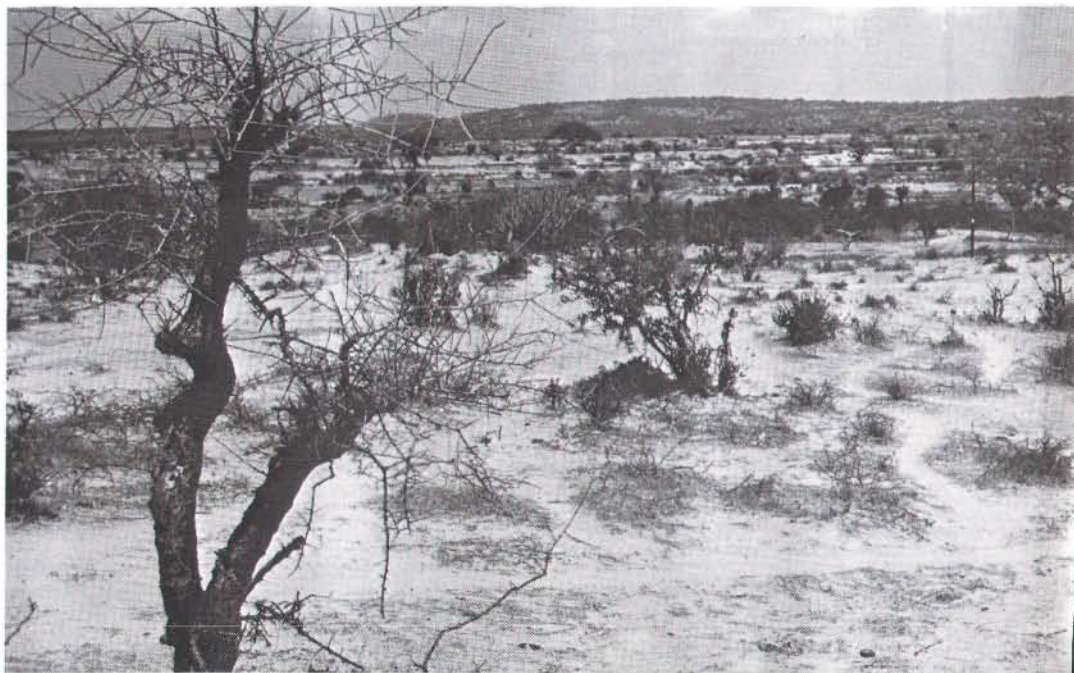
Den Held publiceerde deze bevinding in 1981 in *Ardea*, een Nederlands wetenschappelijk vogeltijdschrift. Het jaar daarop deed de statistisch meer begaafde vogelaar A.J. Cavé de berekening nog eens over, waarbij hij rekening hield met eerstejaars vogels die niet tot broeden kwamen, met het feit dat niet alle purperreigers ten zuiden van de Sahara broeden en met andere ring- en terugmeldgegevens. Uit zijn model kwam een bijna perfecte overeenstemming naar voren tussen de droogte in West-Afrika

en de achteruitgang van de purperreiger in Nederland.

De purperreiger vormde een *eye opener* voor het vogelonderzoek. Jarenlang hadden vogelaars allerlei verklaringen gezocht voor de aantalsfluctuaties, waarbij men in eerste instantie de oorzaak zocht in Nederland zelf. Deden de purperreigers het slecht, dan wees men met het beschuldigende vingertje naar Franse jagers, naar grootschalige boeren, naar pesticiden en naar toenemende recreatie. Deden ze het weer beter, dan was men opgelucht dat het toch allemaal meeviel. Nu bleek: het overwinteringsgebied was de *bottleneck* voor de purperreiger, het warme zuiden waar de vogels 's winters heentrokken bleek dus zeker geen eldorado.

De laatste jaren is de belangstelling voor de Sahelland

De droge vlakte van de Sahel.





den in vogelkringen sterk toegenomen. Zeer veel vogelsoorten overwinteren immers ten zuiden van de Sahara. En niet alleen grote vogels, zoals ooievaars en reigers, maar ook kleine steltlopers en zangertjes.

### De ooievaars

De achteruitgang van de ooievaar in West-Europa werd altijd toegeschreven aan de veranderde landbouwmethoden die de laatste jaren het aanzien van het platteland drastisch hebben gewijzigd. Pesticiden hebben het aantal insecten gedecimeerd en daarmee de kikkers, veldmuizen en regenwormen, het hoofdvoedsel van de ooievaar. Ook kwamen er andere soorten graslanden door grondwaterpiegelverlaging en het gebruik van kunstmest. Iedereen dacht dus dat het onze eigen schuld was dat de ooievaar verdween.

Sinds kort weet men echter beter. De ooievaar heeft vooral te lijden van de bestrijding van de sprinkhanen. Sprinkhanen vormen voor de ooievaar het hoofdvoedsel in Afrika. Behalve door effectieve bestrijding lopen de sprinkhanen ook terug in aantal tijdens droogteperiodes. En iedereen weet dat de Sahel de afgelopen eeuw droger aan het worden is.

Het probleem bij het ooievaar-onderzoek was altijd dat niemand begreep waarom de ooievaars het in Oost-Europa juist wel goed deden. Oost- en Westeuropese ooievaars gaan allebei naar Afrika, dus hoe kon de achteruitgang van de soort nu toegeschreven worden aan oorzaken in Afrika? Het antwoord kwam van nauwkeurig ringonderzoek. Het blijkt dat de Westeuropese ooievaars via Spanje naar West-Afrika trekken. De



Twee geringde ooievaars die terugkwamen. (Foto: Dick Klees).

Oosteuropese ooievaars gaan via de Bosporus naar Oost-Afrika. (Er bevindt zich een mengebied in Duitsland waar de ooievaars kunnen kiezen, maar dit doet verder niet ter zake.) Het blijkt nu uit onderzoek van de studenten Hans Dallinga en Martin Schoenmakers uit Groningen (1984) dat de omstandigheden in West-Afrika zeer verslechterd zijn gedurende de laatste eeuw.

In Oost-Afrika kon de ooievaar nog naar andere insectensoorten uitwijken, maar in West-Afrika werd het voor de ooievaar honger lijden bij gebrek aan sprinkhanen. De makke vogels zaten vaak te hongeren aan watertjes waar ze tot overmaat van ramp een gemakkelijke prooi voor jagers werden.

Dat de vogels in zeer slechte conditie in Nederland terugkwamen, was wel eens eerder opgevallen. Ze waren mager, ze kwamen laat terug en dikwijls legden ze niet eens eieren.

### Dus niet de landbouw

Volgens schattingen van professor R.H. Drent van de Rijksuniversiteit Groningen moet de achteruitgang van de Nederlandse ooievaar voor 67 procent worden toegeschreven aan oorzaken die in Afrika liggen - de overige 33 procent is toch de schuld van de veranderde landbouw.

Ook bij zangvogels is onderzoek gaande. Hierbij is het probleem dat de soorten zich in verschillende winterkwartieren ophouden. Een soort die zeer zuidelijk overwintert (dus tegen het tropisch regenwoud aan) heeft weinig last van de Saheldroogte, behalve tijdens de trek zelf. Een noordelijke soort, die tegen de Sahara aanzit, heeft juist sterk te lijden van de droogte. Er zijn ook soorten die tijdens de winter nog een tweede trekbeweging maken, een verplaatsing binnen Afrika. Maar duidelijk is wel dat alle Sahel-overwinteraars van de droogte



te te lijden hebben. Daar komt nog bij dat het gebied door overbeweiding in hoog tempo in woestijn verandert. Is het voor de Vogelbescherming geen onaangenaam gegeven dat de achteruitgang van sommige Nederlandse vogelsoorten geheel buiten de macht van Nederland ligt? Landbouwers kunnen nu hun schouders ophalen als ze voor de zoveelste keer aansprakelijk worden gesteld voor de

achteruitgang van de natuur - de schuld ligt immers bij de Afrikaanse landen? Zou de Vogelbescherming deze gegevens niet stil moeten houden? Maar zulk soort geheimzinnigdoenerij vindt drs. Siegfried Woldhek, directeur van de Vogelbescherming, kortzichtig: "We moeten betrouwbare voorlichting geven, ook internationaal. Hopelijk luistert men dan ook naar ons wanneer we waar-

schuwen tegen de ganzenjacht - de ganzen beschouwen ons land immers als hun overwinteringsgebied. Maar belangrijker is dat we druk moeten uitoefenen op de Westafrikaanse landen om het milieu te beschermen. Zo dat ze dus niet met hulp van de Nederlandse waterstaatsmensen de laatste moerassen en getijdegebieden droogleggen."

Rob Biersma

## Een pretpark in het koninkrijk

*De publieke discussie over technologie laat haast even vreemde sprongen zien, als primaire deeltjes in quantummechanische onderzoekstellingen. In beide gevallen is er sprake van onverwachte, schoksgewijze ontwikkelingen. Deze worden wel door fundamentele materieonderzoekers toegewezen. Maar bij de discount publieke over de technologie zelf passen die rare sprongen in de discussie vooralsnog in geen enkele fundamentele theorie. Of het moest het vrijwel grenzeloze vertrouwen zijn dat de huidige overheid ten nadele van de alpha- en gammamaatschap-pij wil stellen in de recent nog zo kritisch bekoekeloerde bètawetenschap. Technologische vernieuwingen zijn het nieuwe buitenboordmotor-tortje waarmee onderne-mend Nederland dit land de 21e eeuw zou moeten binnenloodsen. Een ommekeer in maatschappelijke appreciatie.*

*De technologische sector krijgt samen met onderne-mend Nederland plotseling alle vrijheden en mogelijk-*

*heden in de schoot geworpen, die tot voor kort automatisch toevielen aan ondergeschoven bevolkingsgroepen en andere ambtenaren, die nu uit de gratie zijn geraakt van de politiek.*

*Gouden tijden dus voor bètawetenschappers, vooral als ze zich nu weer laten omtur-nen tot monomane vakidio-ten. De no-nonsense gesteldheid die hen in de jaren zeventig niet werd gegund, maar die weer snel aan relevantie wint.*

*Maar voor technenuten, die hun vaantje niet al te vlot willen laten meewapperen met de nieuwe wind die door hun laboratoria waait, is er zelfs op zeer kleine schaal nog wel aanleiding om zich niet meteen helemaal gewonnen te geven. Neem nu de recente discussie over de vestiging van een wetenschappelijk aangejurkt pretpark in ons land. Waarlijk niet iets om je al te druk over te maken. Alhoewel het natuurlijk wel een beetje schrijnt, dat er na jarenlange discussies over de maatschappelijke gevolgen van technologische vernieu-*

*wing voor onze zwakke, maar tegelijkertijd toch ook hardnekkige diersoort, recent voornamelijk wordt gediscussieerd over de vraag op welke lokatie er in ons koninkrijk een pretpark met wetenschappelijke ondertoon zou moeten komen. Een vraag waartoe zelfs een commissie van wijze mannen werd ingesteld, die in december j.l. het verlossende woord moest spreken. Ademloos gevolgd door zeven gemeentebesturen, die gaarne een Hollandse variant op Epcot of Villette op een braak terreintje zouden zien verschijnen. Tot meerdere glorie van de lokale middenstand en de afdeling parkeergelden en -bekeuringen.*

*Die wijze mannen hadden het gemakkelijk. Immers alle ingediende pretplannen lieten, naast zeer hoge vestigingskosten uiterst zonnige bezoekersverwachtingen zien. Zodat het slechts om de vraag ging, hoe vaak en hoe diep Minister Deetman, die er van wordt verdacht het beste voor te hebben met de technologie, voor*



## Bemesten met bacteriën

In vroeger tijden, toen kunstmest schaars en duur was, bemestte men erwten en bonen wel eens met bacteriën. De zaden werden bedekt met *Rhizobium*-bacteriën zodat de symbiotische stikstofbinding snel van start kon gaan.

Die 'bacterisatie' is feitelijk verdwenen.

Bij het Willie Commelin Scholten laboratorium in Baarn wordt geëxperimenteerd met een nieuwe vorm van bacteriële bemesting. Pootaardappelen worden 'besuikerd' met de bacterie *Pseudomonas*. Deze bodembacterie bestrijdt andere schadelijke micro-organismen in de bodem. Die micro-organismen scheiden blauwzuur uit

en belemmeren daardoor de wortelgroei van de aardappel. *Pseudomonas* zorgt ervoor dat deze schadelijke organismen geen of minder gebruik kunnen maken van het ijzer in de bodem. Daardoor ontwikkelen de schadelijke organismen zich slecht en kan de aardappelplant zich beter ontwikkelen. Bemesting met *Pseudomonas* kan een opbrengstverhoging geven van tien tot vijftien procent.

Hein Meijers

deze moderne speeltuin in zijn buidel zal moeten tasten.

Een boeiende vraag, vooral in het licht van eerdere initiatieven op dat front in ons land. Het Evoluon in Eindhoven en Fenomena in Rotterdam. Semi-wetenschappelijke familie-uitjes, die ondanks extra attracties in de vorm van frituur- en schiettenten nooit echt de miljoenenomzetten hebben gehaald die nodig zijn om de opgeklopte verwachtingen van een zevental gemeentebesturen te onderbouwen.

Maar geld mag natuurlijk voor een levensvatbaar idee geen rol spelen. Hetgeen dan meteen de grootste zwakte van al die pretplannen in beeld brengt: wie zit er eigenlijk op een permanente nationale wetenschapsmanifestatie te wachten? Vrijwel uitsluitend pretfabrikanten dunkt ons, of een enkele grote gloeilampenfabriek in het Zuiden des Lands die zich door een Commissaris der Koningin gek laat maken voor een nieuwe vorm van direct-marketing. Met wetenschap en technolo-

gie heeft een dergelijke vorm van modern kermisvermaak weinig te maken. Net als bij een plichtmatige 'openlabdag' vergaapt het publiek zich bij voorkeur aan zo bloeddorstig mogelijk inkijkjes in de wetenschappelijke keuken, maar de stemming komt er pas echt in bij de patatkraam.

Na de decade van de Verrossing, het vanuit de huiskamer deelnemen aan het wereldgebeuren, is nu immers de periode van de Veronicasering aangebroken. De homo ludens, onderworpen aan de meest lullige spelletjes met navenante prijzen.

De psychologie van de beloning wekt de suggestie van een groots en onstuimig leven.

Je moet er immers, aldus een slogan van betreffende publieksomroep, "wel wat voor doen".

Het inmiddels onontkoombare wetenschappelijke pretpark, dat sterk zal lonken naar technologie en wetenschap, zal zich noodgedwongen moeten richten op entertainment en vermaak.

En alhoewel het bedrijven van wetenschap voor sommige onderzoekers ook die kenmerken heeft, moet geveesd worden dat het hier om een heel andere pretfactor gaat.

Tussen de patatlucht en de molestgevoelige modernistische kermisapparatuur, die hier door een aantal grote ondernemingen graag wordt geplaatst, zal vooral de kwaliteit van het pannenkoekenhuis, of van de oude vertrouwde achtbaan maatgevend zijn voor de appreciatie die zo'n eigentijds vermaakcentrum voor wetenschap en techniek met zich meebrengt.

Een dergelijk modern panopticum mag dan wel passen in het straatje van lokale en landelijke beleidsmakers die het volk graag brood en spelen tegen betaling verschaffen.

Maar de technologie en de discussie die de snelle ontwikkeling daarvan nog steeds dient te begeleiden, zijn allerminst gebaat bij dergelijke prestigieuze pretparken.



**De nieuwe directeur wetenschapsvoorlichting:  
 “Ik weiger om te accepteren dat je iets  
 niet kunt uitleggen”**

**“E**r valt genoeg te filosoferen over opzet en doelstellingen van de Stichting Publieksvoorlichting, maar uiteindelijk moet toch de praktijk het leren. Ik zou willen zeggen: beoordeel de Stichting op zijn daden”. Aan het woord is ir. Fred Kappetijn, directeur van de Stichting Publieksvoorlichting, die na tweeëneenhalf jaar discussie dit jaar echt van start gaat.

De Stichting Publieksvoorlichting is een uitvloeisel van de overheidsnota ‘Integratie van Wetenschap en Techniek in de Samenleving’, kortweg IWTS-nota genaamd. Daarin stelt de overheid dat er een evenwichtig draagvlak moet komen voor discussie over wetenschap en techniek en vooral over de mogelijke gevolgen ervan.

*Wat moeten we eigenlijk verstaan onder een evenwichtig draagvlak?*

Kappetijn: “De taak van de Stichting is om een zo breed mogelijk publiek te informeren over de mogelijkheden en de onmogelijkheden van wetenschap en techniek. Het idee is dat als mensen meer informatie hebben, zij niet alleen geen of minder onterechte angst hebben voor die ontwikkelingen, maar ook minder overdreven verwachtingen.”

*De Stichting heeft nogal lang op zich laten wachten. Komt het omdat enerzijds Economische Zaken behoefte had aan positieve voorlichting over technologische ontwikkelin-*



*gen en anderzijds Onderwijs en Wetenschappen vond dat er meer aandacht moest zijn voor mogelijk negatieve gevolgen van wetenschap en techniek?*

Kappetijn: “Van de voorgeschiedenis en van een eventuele strijd tussen Economische Zaken en Wetenschapsbeleid weet ik weinig. Het is niet de taak van de Stichting om het technologiebeleid te ‘verkoppen’. Als er sprake is van verschillende doelstellingen dan denk ik dat de taak van de Stichting meer aansluit bij hetgeen in de IWTS-nota is geformuleerd: het zichtbaar maken van de mogelijke gevolgen van wetenschappelijke en technische ontwikkelingen”.

*Als we aannemen dat tussen verschillende departementen verschillende ideeën leven over publieksvoorlichting, is dan de kans niet groot dat de Stichting daar een speelbal van wordt? Zoals de Nationale Commissie Voorlichting en Bewustwording Ont-*

*wikkelingsamenwerking, de NCO?*

Kappetijn: “Dat gevaar bestaat altijd; dat hangt niet af van de vraag of verschillende departementen verschillende ideeën hebben. Ik betwijfel of het bij de publieksvoorlichting over wetenschap en technologie zo’n grote rol gaat spelen. Het hangt denk ik samen met de emotionele lading van de onderwerpen die je aanpakt en de manier waarop je dat doet. Mijn idee is dat de Stichting in de eerste jaren van zijn bestaan zijn herkenbaarheid moet ontlenuen aan zijn integriteit. Als we een gevoelig probleem bij de kop pakken, noem eens wat, het gebruik van gerecombineerde organismen in het milieu, of in voedsel, dan moet onze informatie maximaal objectief zijn”.

#### **Tien mensen**

De Stichting heeft een subsidie van vijf miljoen gulden per jaar voor een periode van vijf jaar. Kappetijn denkt dat de organisatie uiteindelijk circa tien mensen in vaste dienst zal hebben. De activiteiten van de Stichting zijn in twee hoofdgebieden te onderscheiden. Het ene deel zal bestaan uit ondersteunende activiteiten met name gericht op de media. Daarnaast zal de Stichting ook zelf voorlichting over bepaalde thema’s in gang zetten. Wat de ondersteunende activiteiten betreft, denkt Kappetijn aan dingen als een regelmatige nieuwsbrief, een wekelijkse agenda van activiteiten op weten-



schappelijk gebied en aan databanken. Een andere activiteit is het organiseren van studiereizen voor journalisten. Kappetijn: "Met deze activiteiten proberen we een betere basis te scheppen voor journalisten. Er is nog een groot aantal journalisten dat mede door gebrek aan ervaring, de ontwikkelingen in wetenschap en technologie onvoldoende kan volgen. Verder vind ik dat de audiovisuele media te weinig doen aan het informeren van het publiek over wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen".

*Naast ondersteunende activiteiten initiëren jullie ook activiteiten. Wat moeten we ons daarbij voorstellen?*

Kappetijn: "Heel duidelijk is dat nog niet. Waar ik aan denk zijn onderwerpen die in de gewone informatiestroom weinig aandacht krijgen. We willen proberen gedurende een beperkte periode de aandacht te richten op een bepaald thema; we maken zeg maar een gespreksonderwerp".

*Noem eens wat?*

Kappetijn: "Er zijn nog geen concrete onderwerpen vastgesteld, maar een voorbeeld dat ik voor mezelf wat heb uitgewerkt is 'het getal'. Daarbij denk ik dan aan iets over computers, natuurlijk, maar ook aan iets over interessante getallen zoals priemgetallen en de bijzondere getallen zoals  $e$  en  $\pi$ . Verder kan je denken aan kansspelen, bijvoorbeeld hoe werkt een 'random generator' een computer die volstrekt willekeurige getallen levert, zoals bij de Staatsloterij".

*Op zich is dat wel leuk, maar waar zitten die maatschappelijke aspecten?*

Kappetijn: "Dat is het aardi-

ge van zo'n onderwerp. Als je even doordenkt kom je bij allerlei maatschappelijke aspecten uit. Ik noemde al de kansspelen, maar je bedoelt waarschijnlijk wat meer ingrijpende gevolgen. Wel, via de priemgetallen kun je bijvoorbeeld uitkomen bij coderen en decoderen van gegevens en bij de militaire af luisterstations.

Computers hebben te maken met de privacyproblematiek. En als je daarover doordenkt kun je je afvragen hoe kwetsbaar een geautomatiseerde samenleving is of wordt".



### Kenniskloof

*Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat het effect van wetenschapsvoorlichting en journalistiek is, dat een kleinere groep mensen steeds meer gaat weten, terwijl een grote groep in verhouding steeds minder weet. De kenniskloof, zoals dat plastisch wordt aangeduid. Denk je dat dit soort activiteiten de kenniskloof vergroot of verkleint?*

Kappetijn: "De bedoeling is natuurlijk dat je de kenniskloof verkleint. ik denk dat als je één of twee keer per jaar zo'n thema lanceert, dat je er dan voor kunt zorgen dat het

bij de mensen op hun bord komt. Dat zij erover praten, tenminste als je het zo presenteert dat ieder er wat van zijn gading kan vinden. Ik denk trouwens dat de kenniskloof groter wordt omdat de audiovisuele media bevreesd zijn om wetenschappelijke en technische onderwerpen te brengen.

Programmamakers veronderstellen al gauw dat het te moeilijk is. Daar ben ik het niet mee eens. Ik weiger om te accepteren dat je iets niet kunt uitleggen".

*Als je dat doet, dan gebeurt dat vaak op een manier waarvan de onderzoekers zeggen; 'tut tut, moet dat nou, dat is veel te simpel.' Dat dilemma tussen wat onderzoekers nog wetenschappelijk verantwoord vinden en wat begrijpelijk is voor een groot publiek ben je in je journalistieke loopbaan toch ook tegengekomen (Kappetijn was tot voor enkele jaren wetenschapsjournalist bij Elseviers Weekblad)?*

Kappetijn: "Een indirecte taak van de Stichting is het opvoeden van Nederlandse onderzoekers in de communicatie met een breed publiek. In vergelijking met andere landen is dat hier onvoldoende ontwikkeld. Ik vind dat onderzoekers moeten kunnen uitleggen waar ze mee bezig zijn. Ze doen tenslotte onderzoek in opdracht of met geld van het land, van de hele bevolking.

In het continue debat tussen wetenschap en samenleving staat de Stichting aan de kant van het publiek. We zijn geen verlengstuk van de wetenschap".

**Joost van Kasteren**

Foto's: Stokvis.



## Vier keurige dames

### Uit het stenen tijdperk van de computers

**J**e zult maar vier keurige dames van respectabele leeftijd tegenkomen, die tot je verbazing beweren onderdeel te zijn geweest van 'de clan die de eerste Nederlandse computer in elkaar heeft gezet' en die daar nog steeds apetrots op zijn. En je zult maar een grijze dame van zestig plus spreken die het zo beschamend vindt dat de jeugd van tegenwoordig die op computers hobbiet, minder van de apparaten afweet dan zij begin jaren vijftig. Op dat moment vraag je je af met wie je te doen hebt.

Het zijn de dames die in de eerste jaren van het Mathematisch Centrum in Amsterdam de ellenlange berekeningen uitvoerden waarvan het nu de gewoonste zaak van de wereld is dat de computer ze doet. Toen zij jong waren, was het nog mensenwerk en zij waren degenen die zich aan deze taak zetten. Jarenlang deden ze dat met de hand, met ouderwetse tafelrekenmachines. Vanaf '54 voerden zij op professionele wijze berekeningen uit op de eerste Nederlandse computer.

"Een beetje rekenopdracht duurde maanden", weten ze nog. "Bij hele grote klussen zat je samen aan een opdracht te rekenen, maar dat was eigenlijk vervelend. Het liefst deed je het alleen." Er werd gedifferentieerd, geïntegreerd en geïtereerd. Kasten vol tabellenboeken werden getal voor getal met de hand uitge-rekend. "Je begon maar gewoon te rekenen", vertelt Eddy Alleda, "Je zag wel". "Kreeg je een hele grote opdracht", aldus Truus Hurts,

"dan moest je eerst doorzien hoe die op te splitsen was in hele kleine brokjes. Onze tafelrekenmachines konden in principe alleen optellen, aftrekken en vermenigvuldigen.

Alles moest dus herleid worden tot kleine stapjes. In het begin werd dat deels voor je voorgedaan. Was je meer ervaren, dan doorzag je het zelf wel."

"Ik weet nog goed hoe je eindeloze iteraties moest uitvoeren", zegt Dineke Botterkamp. "De methode kwam erop neer dat je aan de hand van grafiekjes een grove schatting maakte waar je uit moest komen. Die schatting ging je dan narekenen. Uiteindelijk kwam je steeds dicht bij de uiteindelijke uitkomst. Hoe beter je gokte, hoe sneller je klaar was". "Jij was ook wel heel rap, heel handig altijd", weet Eddy Alleda nog, "Ik moet steeds nog denken aan de ellenlange opdrachten met eindeloos veel decimalen. Je zat je blauw te rekenen en uiteindelijk viel dan alles tegen elkaar weg. Kon je weer opnieuw beginnen, met nog meer cijfers achter de komma. Het aantal cijfers dat zinvol overbleef, dat was erg belangrijk".

Stuk voor stuk waren het rekenwonders en ze deden de hele dag niets anders dan rekenen. Tegelijkertijd werd gezongen ("Natuurlijk", zegt Truus Hurts nog steeds een beetje triomfantelijk, "We zijn toch vrouwen? Die kunnen twee dingen tegelijk"), tussendoor gelachen, gekletst en geroddeld. Het rekenwerk leefde.

### Het was een hel

Vanaf de oprichting in '46 nam het Mathematisch Centrum de maatschappelijke functie hoog op. Het meeste rekenwerk werd voor externe opdrachtgevers verricht. De Koninklijke Shell, Wilton Fijenoord, de Hoogovens en Fokker, voor heel Neerlands hoop in de naoorlogse bouwperiode sloeg een zevental dames aan het rekenen.

De herinneringen aan de berekeningen voor de eerste supertanker van Wilton Fijenoord staan nog vers in het geheugen. Het schip moest van stapel lopen, dat kon alleen dwars op het kanaal gebeuren maar het kanaal was te smal voor de totale lengte van de tanker. De dames van het rekencentrum (zeven in totaal) rekenden uit hoe, waar en wanneer de kop van het schip tijdens de tewaterlating opzij getrokken moest worden. Als premie op het rekenwerk werden ze uitgenodigd bij de doop van het schip en stonden precies tegenover de stapel aan de overkant van het kanaal. "Het was een hel", herinnert Eddy Alleda zich, "Het enige dat ik me herinner is dat ik wel door de grond wou gaan. Dat ding kwam recht op ons af en er gebeurde niets. Ik was doodsbang. En toen, op het laatste moment, ging het precies zo als we het berekend hadden: in een mooie boog draaide de tanker het kanaal op".

Een ander prestige-klusje was voor Fokker: de draagwijdte van de vleugels voor de Friendship moest worden uitgerekend. Dat had de grootst mogelijke haast, maar ja, alles moest met de hand. Dus werd er een systeem met bonussen ingesteld. "Je moest velletjes met berekeningen inleveren", vertelt Dineke Botterweg, "voor het eerste vel-



letje kreeg je één cent extra, voor het tweede twee cent en zo voort en zo voort. Ik was van mezelf al snel met rekenen, dus heb ik die weken 150 gulden extra verdiend. Dat was zo ongeveer een maand-salaris. Maar op een gegeven moment dacht ik wel: barst maar met je velletjes. Je hebt uiteindelijk toch je eigen tempo".

## Huwelijksbureau

De toewijding van de dames was groot. De salarissen waren ook meer dan gemiddeld: beginnend op ruim honderd gulden in de maand, wat na verloop van tijd op kon lopen tot boven de tweehonderd. Bertha Haanappel was door haar wiskundeleraar op de HBS getipt. Ze haalde negens en tien bij haar eindexamen voor wiskundevakken. Ze had geen flauw idee wat het beroep van wetenschappelijk

rekenaarster inhield, maar ze was allang geveid dat ze ervoor werd gevraagd. Inmiddels is ze met een hoogleraar informatica getrouwd ("Ach ja, zo'n mathematisch centrum functioneerde natuurlijk toch ook een beetje als huwelijksbureau").

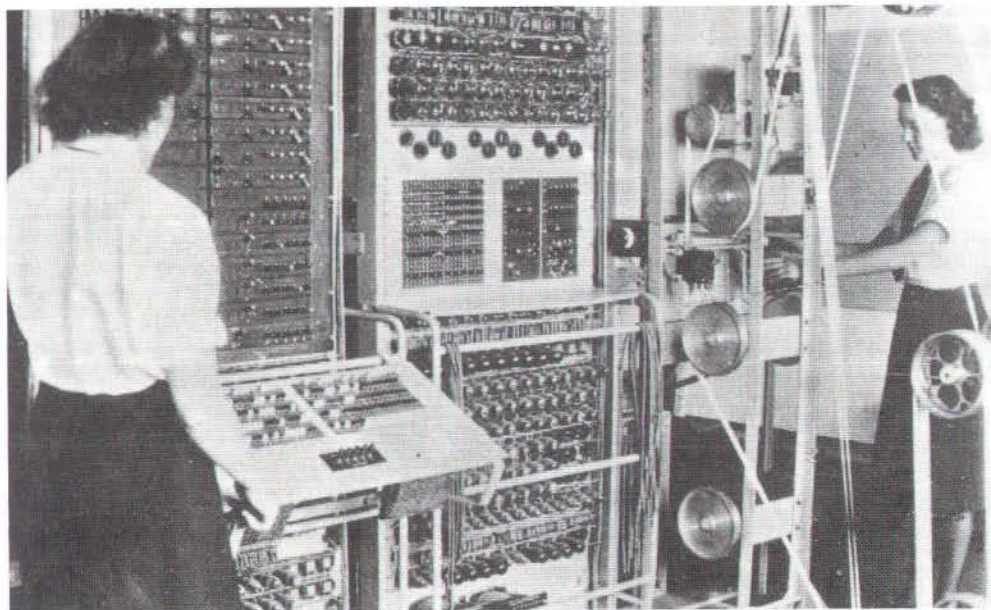
Ook de anderen kwamen zo van de HBS of het gymnasium, allemaal met uitzonderlijk goede cijfers voor wiskunde. Een geval apart was Eddy Alleda. Toen ze vlak na de oorlog haar eindexamen haalde, vond ze wiskunde "zo'n fantastisch vak" dat ze besloot naar de universiteit te gaan. Geld was er niet, maar daar stond ze verder niet te lang bij stil. Van haar pastoor kreeg ze het collegegeld toegeschoven ("hfl. 375,-, een heel bedrag in die dagen!"), dus op naar Leiden. "Een rare tijd", zegt ze. "Er waren weken dat ik niet eens 11 cent had om een brood te kopen,

want zoveel kostte dat toen." Uiteindelijk trad ze voor halve dagen in dienst bij het Mathematisch Centrum. Ze raakte zo verslingerd aan het werk daar, dat de studie er na enige tijd verder bij inschoot. Als een van de weinigen bleef ze ook na haar trouwen werken ("Ik was toch niet geschikt voor het huishouden. Vreselijk vind ik dat. Tijdens het koken had ik wiskundeformules op de koelkast liggen") en vertrok pas toen ze hoogzwanger was.

## De handmolentjes

Het rekenwerk begon op de zogeheten handmolentjes. Op tandwielletjes werden de getallen ingesteld. Om te vermenigvuldigen moest het handeltje worden omgedraaid. Daarna kwamen de grotere mechanische tafelmachines, die ratelend het werk verrichtten. Als ze weer te voorschijn

De Britse Colossos-computer, een tijdgenoot van ARRA.







Van links naar rechts: Truus Hurts, Dineke Botterkamp, Bertha Haanappel en Eddy Alleda. (Foto: CWI, Zwartst.)

worden gehaald voor het gezelschap dat in kleine kring de herinneringen ophaalt, worden ze met blijdschap toegelachen alsof een oude bekende van jaren her opdoemt. He-las: ze doen het niet meer. Routineus laat één van de dames een machien op tafel klappen onder de woorden: "Dit wou nog wel eens helpen". Maar de rekenapparaten lijken definitief ter ziele. En toen kwam in 1953 de mooiste en grootste rekenmachine die er ooit was geweest: de ARRA, de eerste Nederlandse computer. Als een bedreiging werd de nu ondenkbaar grote machine niet beschouwd. "Werkloosheid bestond toen toch helemaal niet!?", verklaart Bertha. "Ik heb nog een week lang staan solderen aan de ARRA", vertelt Truus Hurts, "want dat ding moest klaar en ach, je werd gewoon overal voor ingezet. Volgens een schema op papier moest ik allerlei draadjes met elkaar verbinden". Langzaam zagen ze

de verschillende versies van de Amsterdamse computers ontstaan. Nu nog is Dineke Botterweg op elke archief-foto te zien als de dame die de ARRA flankteert. Ze mochten steeds meer rekenwerk dat ze voorheen met de hand deden op de ARRA verrichten, en later op de ARMAC. Eigenlijk hebben we ongemerkt een heel gedegen opleiding in de informatica gehad, nog voordat iemand dat vak überhaupt zo noemde", vinden ze zelf. "We deden alles zelf, eerst een hoop handrekenwerk als voorwerk, dan het programmeren zelf". "Reken maar dat wij in die tijd heel wat meer van het binnenste van een computer wisten dan de jongelui die er nu op werken", zegt Eddy Alleda. Ze kan het weten want ze heeft onlangs nog een MEAO-opleiding informatica gevolgd en daarbij Basic leren hanteren. "Wij deden alles nog in machinetaal", zegt ze. "Daarbij moest je echt goed door hebben wat de machine

allemaal kon en wat niet. Het geheugen was bijvoorbeeld klein, 4K geloof ik. Je moest dus van te voren goed opletten dat je het geheugen niet overvoerde omdat de berekening te lang was. Er mocht geen overflow ontstaan, dan moest je de achterste getallen vast af laten vallen. Dat rekenende je van te voren uit".

### Een verjaardagsfeestje

"En je moest erbij blijven", weet Truus nog. "Hele nachten hebben we er in het begin bijgezeten. Ik weet nog dat onze baas mij 's avonds om tien uur een keer belde, of ik maar wou komen. Ik zat net op het verjaardagsfeestje van mijn schoonzusje. Moest ik opeens naar de computer. Je had mijn vader moeten zien: woest was 'ie. Ik als meisje zo laat nog over straat. Hij vond het bespottelijk".

Ze leerden het tweetalig stelsel en werden zeer behendig in het programmeren: eerst het voorrekenwerk, dan het programma schrijven, daarna zelf ponsen en zelf inlezen. "Je kwam als rekenaarster binnen, je ging als computerdeskundige weg. Je deed alles, je wist alles", zeggen ze. "Vooral omdat er nog zoveel mis ging", zegt Eddy Alleda. "Daarom moest je erbij blijven. En als het dan in de soep liep, kon het aan twee dingen liggen: of aan een fout in het programma, of in de machine zelf. Dat was dan weer een hoop gepuzzel".

Nu, zo'n dertig à veertig jaar later, doen ze eigenlijk niets meer met hun informaticakennis. Ze zijn getrouwd, hebben kinderen gekregen, de toekomst is anders gelopen. "Als we door waren gegaan, hadden we de kloof met de wetenschappelijke medewerkers op den duur wel overbrugd", is hun inschatting.



"Maar ja, dat deed je niet. Je hield op een gegeven moment op met werken en dan wijdde je je aan je gezin".

Alleen Eddy Alleda, altijd al verslingerd aan de wiskunde, heeft het nooit helemaal losgelaten. Ze is wiskundeles gaan geven en heeft zich onlangs (ze is nu over de zestig) de zegeningen van Basic eigen gemaakt. Ze volgt nu de Open Universiteit. Haar dochter had gezegd: "Ach ma, tegenwoordig is alles anders". Ze dacht "Dat zou te gek zijn"

en besloot het dan nog maar eens te proberen. Haar cursus informatica aan de MEAO sloot ze af met een 10. Eigenlijk vindt ze het hedendaagse computer-gebeuren veel minder waard dan het pionierswerk uit de jaren vijftig. Het is te makkelijk geworden. "Dat ze al die software kopen", zegt ze "Zo'n boekhoud-programmaatje, ach dat schrijf je toch even zelf? Maar dat kunnen ze tegenwoordig niet meer".

Eefke Smit

Ter gelegenheid van het veertigjarig bestaan van het Mathematisch Centrum in Amsterdam, verschijnt binnenkort een boek over de beginjaren van het Mathematisch Centrum, onder de titel "Zij mogen uiteraard daarbij de zuivere wiskunde niet verwaarlozen". Op 10 februari zal tevens een symposium over dezelfde materie worden gehouden. Inlichtingen: Centrum voor Wiskunde en Informatica, Kruislaan 413, 1098 SJ Amsterdam, tel. 020-5924171.

## Reageerbuishuid voor brandwonden

Sinds mei 1985 experimenteren de vakgroep dermatologie van de universiteit in Leiden en het Brandwondencentrum in Beverwijk met het gebruik van gekweekte huid voor ernstige brandwonden. Inmiddels zijn bij vijf patiënten succesvolle huidtransplantaties met deze reageerbuishuid uitgevoerd.

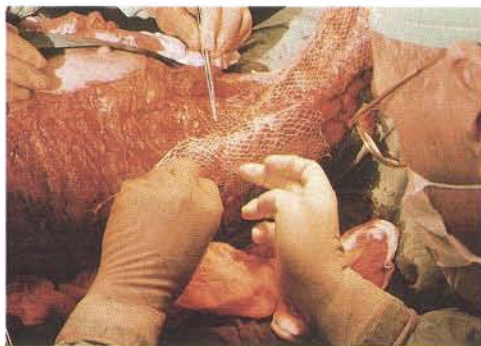
In geval van ernstige derdegraads brandwonden neemt men bij deze methode een stukje huid van de patiënt zelf. De opperhuid, de epider-

mis wordt enzymatisch losgemaakt van de dermis. De epidermis-cellen worden van elkaar losgeweekt en vervolgens uitgezaaid in petrischaaltjes. Binnen veertien dagen bedekken nieuwe epidermiscellen de bodem van het schaalpje.

De procedure wordt nogmaals herhaald, zodat men na vier weken voldoende huid heeft gekweekt voor een volwassen persoon, uitgaande van een stukje huid van vijf vierkante centimeter.

De methode is nog experimenteel. Ze is vooral van belang in die gevallen waarin te weinig onbeschadigde huid is overgebleven voor de gebruikelijke transplantatie met 'opgerekte' stukken eigen huid.

De foto's tonen de 'klassieke' transplantatie van eigen huid bij een brandwonden patiënt. Onaangetaste huid (hier van de dij) wordt afgenomen. Daaruit wordt een soort rolladenetje gemaakt, dat over de aangetaste huid gelegd wordt en vervolgens dichtgroeit. (Foto's: Duphar.)





# ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving  
natuur en techniek

## Supersnel paar

De aarde doet het in een jaar, Mercurius in 88 dagen, terwijl Pluto er liefst 248 jaar over doet om een omloop rond de Zon te maken. Twee sterren in het sterrebeeld Boogschutter draaien echter in 11 minuten om elkaar heen.

Een internationaal team sterrekundigen van ESA en Los Alamos heeft met metingen van Exosat (European X-ray Observatory Satellite) gevonden dat twee sterren uit de heldere röntgenbron X1820-30, op 20 000 lichtjaar afstand, in 11 minuten rond elkaar cirkelen. Het dubbelster-systeem is een 'stervende' witte dwerg die gevangen is in het zwaartekrachtsveld van een neutronenster.

Onze melkweg bevat ongeveer 50 röntgenbronnen die op X1820-30 lijken. De hartslag hiervan is gas dat van de begeleidende ster op de neutronenster valt met een snelheid van 100 000 km per seconde. Dit veroorzaakt een geweldige hoeveelheid energie — 10 000 maal meer dan de totale uitstoting van de Zon — die door de slechts 10 km grote neutronenster wordt uitgezonden. De begeleider onderbreekt die telkens even als hij ervoor langs draait; er ontstaan pulsen die door Exosat 'gezien' zijn.

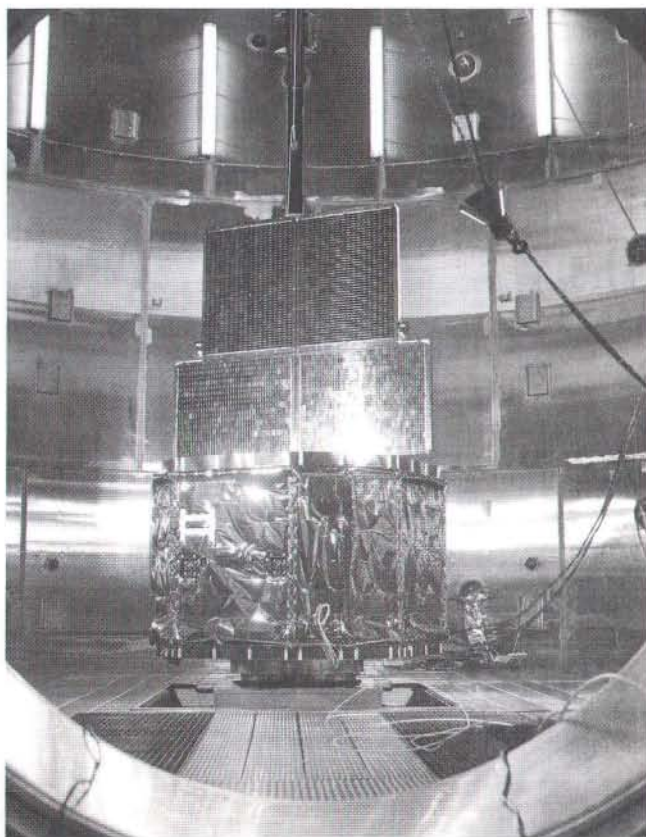
De door Exosat ontdekte periode is zo kort dat de begeleidende ster vrij klein moet zijn, zo'n drie keer groter dan de Aarde. Dit kan alleen maar een witte dwerg zijn, bestaande uit puur helium. De dubbelster zou dus gemakkelijk tussen de Aarde en de Maan in passen en toch anderhalf maal meer massa hebben dan de Zon. De vorming van deze merkbaar-

dige dubbelster komt doordat hij zich in de bolcluster NGC 6624 bevindt, een dichte opeenstapeling van erg oude sterren. In zo'n cluster zitten de sterren een miljoen maal dichter bij elkaar dan in onze regio's van de Melkweg. Dr. F. Verbunt meent dat dit systeem ontstaan is toen een neutronenster en een rode reus

(één die net als onze Zon aan het eind van zijn leven is) op elkaar botsten. De neutronenster zou zich dan spiraalsgewijs in de atmosfeer van de rode reus naar binnen hebben bewogen, zodat door de daarbij vrijkomende energie de buitenste lagen van de rode reus de ruimte in werden geblazen. Over bleef alleen een kleine heliumkern, een witte dwerg.

*(Persbericht ESA)*

De EXOSAT-satellieten in 1983 toen hij nog op aarde was en getest werd. Nu tast hij de hemel af, op zoek naar interessante röntgenbronnen. (foto ESA).





## Vergeten

Oudere mensen lijden niet zo erg aan geheugenverlies als op grond van hun vergeetachtigheid wel eens gedacht werd, ook door wetenschappers. Het is eerder zo dat ouderen de gave van het 'positieve vergeten' bezitten. Op het jaarlijkse congres van de Amerikaanse Psychologische Vereniging postuleerden enkele onderzoekers van verschillende universiteiten deze hypothese. Vergeetachtigheid is in deze nieuwe opvatting een nuttige mentale vaardigheid. Het idee van het positieve vergeten is ontstaan toen onderzoekers nog eens nagingen met welke tests tot nu toe de vermeende achteruitgang van de geheugenfuncties bij ouderen werd onderzocht. Het ging daarbij steeds om het oplossen van triviale problemen, zoals ze ook op schoolexamens worden voorgesteld. Wetenswaardigheden uit het dagelijks leven werden in de tests niet onderzocht.

Wanneer aan mensen tussen de 20 en 80 een test wordt voorgesteld die de voor het dagelijks leven benodigde hersenfuncties toetst, dan is van een verminderde hersencapaciteit geen sprake. De test die de onderzoekers ontwikkelden behandelde problemen als: wat moet er allemaal gebeuren als de huisbaas een kapotte geiser niet wil repareren, of: hoe moet het als de Sociale Dienst de bijstand niet overmaakt.

De psychologen vonden dat het vermogen om dit soort problemen op te lossen toeneemt tot ver

in de middelbare leeftijd. Mensen van zestig jaar en ouder hebben geen enkele moeite een minuut een belangrijk telefoonnummer te onthouden. De conclusie van een heel stel Amerikaanse geheugenonderzoekers is voorlopig dat het oude onderzoek naar geheugenfuncties ernstig verstoord is doordat mensen op verschillende leeftijden andere beslissingen nemen over de feiten die 'vergeetbaar' zijn. Over het voor de hand liggend praktisch nut van vergeten zei een van de onderzoekers, dr. Cameron Camp van de Universiteit van New Orleans: "Als je kok bent in een quick-food restaurant dan is het een onderdeel van je taak om in de drukke lunchtijd de orders te vergeten die je al uitgevoerd hebt."

(New York Times)

## Rectificatie Boemerang

In het boemerangartikel in het novembernummer (pag. 828 t/m 841) zijn tot onze spijt op pag. 838 van twee stereoplaatjes de linker en rechterafbeelding verwisseld. Het gaat om het middelste stel op pag. 838. Hieronder zijn ze juist afgedrukt. Het is de theoretisch berekende benadering van de gefotografeerde baan van een boemerang, die op dezelfde pagina erboven was afgedrukt. Het stereo-effect is te realiseren door de plaatjes zo te bekijken dat de beelden samenvallen die het rechteroog van het rechterplaatje vormt en het linkeroog van het linkerplaatje.

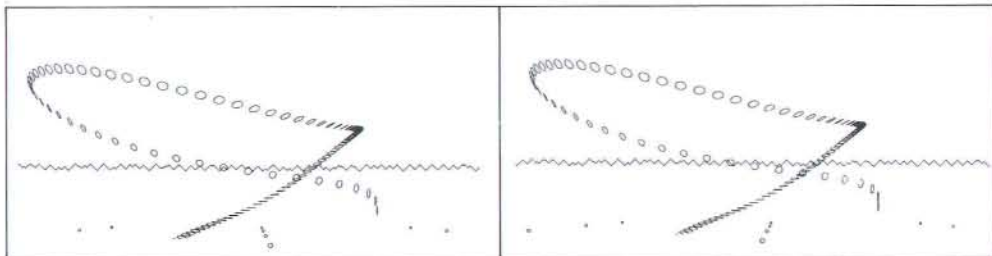
De redactie

## Rectificatie

Door omstandigheden die buiten onze macht lagen is in het artikel van prof Van Landuyt over de Nobelprijs voor Ruska, Binnig en Rohrer in het vorige nummer een vervelende fout geslopen. Het onderste bijschrift op pagina 938 dient als volgt gelezen te worden:

'De toename van het scheidend vermogen dat de afgelopen 300 jaar door verbeterde methoden in de microscopie gerealiseerd kon worden, is indrukwekkend. De foto links toont een opname van een diatomee, gemaakt door een Van Leeuwenhoeck-microscop van rond 1670. Rechts zien we een elektronenmicroscopische opname van een goudlegering, gemaakt in 1983. De kleinste afstand tussen twee punten die met de lichtmicroscop nog onderscheiden kunnen worden bedraagt 200 nm. Dat komt omdat het scheidend vermogen afhankelijk is van de golflengte van het licht volgens:  $s = 0,6\lambda / n \sin \alpha$ , waarin  $n$  de brekingsindex van glas is en  $\alpha$  de openingshoek van de lichtstralen, bepaald door de lensopening. Omdat de noemer nooit groter is dan 1,5 geldt  $s \geq 0,4\lambda$ . Het scheidend vermogen van de elektronenmicroscop is nu reeds kleiner dan 0,2 nm, met andere woorden duizend maal beter.'

De foto van de diatomee komt van prof van Cittert uit Utrecht, de elektronenmicroscopische opname is gemaakt door prof Van Tendeloo uit Antwerpen.





## Supergeleidend supergek

We dachten de supergeleiding onder de knie te hebben, maar nieuwe supergeleidende materialen doen te gek om in de theorie te passen. Die materialen begrijpen – en beheersen – is nochtans de moeite waard. Het grootste deel van de elektrische energie gaat normaal gesproken verloren in warmte tijdens de geleiding. Een stereoinstallatie van 100 W zal twee; drie, ten hoogste vijf Watt omzetten in geluid, en de gloeilamp heeft haar naam ook niet gestolen.

Bij supergeleiding laat het materiaal de elektrische stroom echter zonder merkbaar verlies door, zoals de beroemde Nederlandse fysicus Heike Kamerlingh Onnes in 1911 ontdekte. Supergeleiding treedt echter alleen op bij lage temperatuur (Pb 7,2 K, Sn 3,7 K). In 1913 maakte Kamerlingh Onnes een elektromagneet met een spoel van 1000 loden windingen, om tot zijn spijt te ontdekken dat er niet alleen een boven-temperatuur, maar ook een bovengrens voor het magneetveld bestaat om een metaal supergeleidend te houden. Alleen bij zwakke stromen bleef zijn magneet supergeleidend.

Supergeleidende spoelen van zuivere metalen maken geen sterker magneetveld dan 0,2 Tesla. Klassieke elektromagneten gaan tot 2 Tesla. Supergeleiding bleef leuk speelgoed voor geleerden, maar praktisch was er niet veel mee aan te vangen. Theoretisch begrip bleef ook uit. Pas in 1957 gaven John Bardeen, Leon Cooper en John Schrieffer een bevredigende uitleg, wat in 1972 de Nobelprijs opleverde. Bij lage temperatuur worden de metaalionen in het kristalrooster uiterst log, en reageren pas op de passage van een elektron als dat alweer voorbij is. Zo ontstaat waar het elektron net passeerde een ophoping van positieve lading, die een volgend elektron aantrekt. Het is net of de

twee elektronen elkaar aantrekken. Eenmaal die elektronenparen gevormd, verdwijnt de elektrische weerstand.

In de jaren zestig komen de legeringen, zoals niobiumstannaat ( $\text{Nb}_3\text{Sn}$ ) of -titaanaat ( $\text{Nb}_3\text{Ti}_{60}$ ), die bij hogere velden en temperaturen bruikbaar zijn. De eerste supergeleidende magneten duiken in de laboratoria op, bijvoorbeeld in NMR-spectrometers. In juli 1986 haalde een dergelijke magneet in het MIT (Massachusetts Institute of Technology) een record van 30,1 Tesla.

Fusiereactors kunnen per definitie niet zonder supermagneten, en de nieuwe generaties deeltjesversnellers al evenmin. Infrarood-astronomie is al evenmin denkbaar zonder supergeleidende detector (IRAS werd uit dienst genomen toen het vloeibaar helium voor de koeling op was). Ook in de industrie duiken de eerste toepassingen op, zoals alternatoren voor elektriciteitscentrales. Een supergeleidend systeem is echter nog steeds veel te duur. We zouden van dat vloeibaar helium af moeten. De Bardeen-Cooper-Schrieffer-theorie eist echter lage temperaturen.

Tot recent binaire en ternaire legeringen ontdekt werden met zeldzaam aarden (cerium) of actiniden (uranium), waarin de elektronen bij lage temperaturen een massa krijgen van verscheidene honderden malen de rustmassa van het elektron. Ongehoord! Een speciaal geval van de bestaande theorie, of een totaal nieuw verschijnsel? We weten het nog niet. En de 350 fysici uit 22 landen die zich vorig jaar zomer in Grenoble over het probleem bogen, al evenmin. Maar ze hopen er snel uit te zijn. Wij betalers van elektriciteitsrekeningen hopen dat met hen, het kan behoorlijk schelen.

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.  
Telefoon: 043-254044\*.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.  
Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertenties:

R. van Eck: tel. 043-254044.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 99,50 of 1925 F.

Prijs voor studenten: f 77,50 of 1475 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 8,45 of 160 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

(Sciences et Avenir)

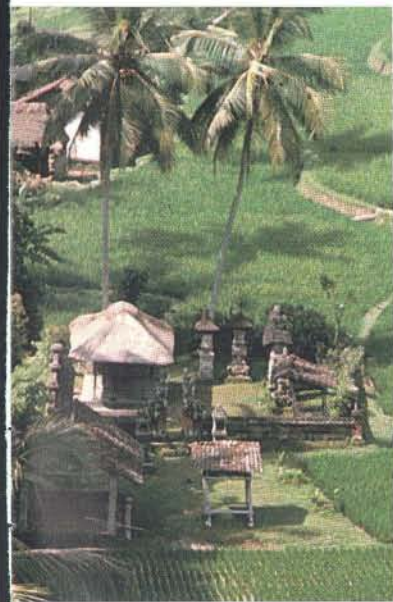




Bali . . .  
maar dan anders

Een heel bijzondere reis naar

# BETOVEREND BALI



De paas- en zomerreizen naar Bali (zie onze publicatie in het nummer van december 1985 van *Natuur & Techniek*) werden een ongekend succes. Van vele deelnemers ontvingen wij enthousiaste reacties over de inhoud en de opzet van deze reis. Daarom hebben wij besloten nog twee keer een Bali-reis aan te bieden, met hetzelfde programma.

#### Data

Pasen: 11 april t/m 26 april 1987

Kerstmis: 18 december 1987 t/m 3 januari 1988

#### Reissom

f 4500,- per persoon, all in

#### Uiterste inschrijfdata

Paasreis: 15 februari 1987

Kerstreis: 18 september 1987

Het maximum aantal deelnemers per reis is 16 personen. Inschrijving vindt plaats in volgorde van binnenkomst. Voor meer informatie en een inschrijvingsformulier kunt u zich schriftelijke wenden tot *Natuur & Techniek*, Postbus 415, 6200 AK Maastricht, onder vermelding van 'Bali-reis Pasen' of 'Bali-reis Kerstmis'. U kunt zich ook telefonisch wenden tot de verantwoordelijke reisorganisatie: de Stichting M.B.-Excursies, telefoonnummers: 043-216137 (niet van 15 januari tot 9 februari); 04459-2037 en 045-710214 liefst na 18.00 uur.

**NATUUR  
& TECHNIEK**







### De Bij als Dokter

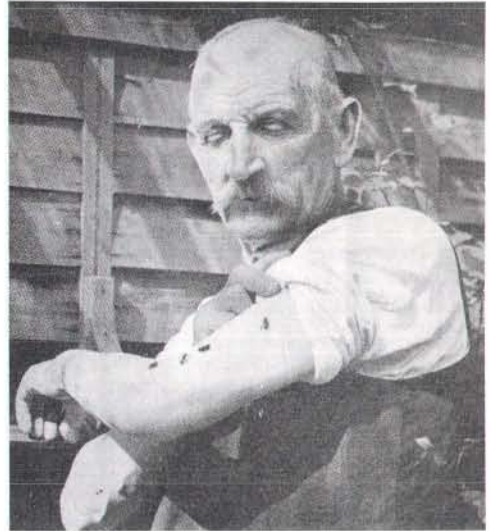
In de omgeving van Ulm, het stadje aan den Donau, bevindt zich een reusachtige bijenkwekerij. Is de honing in dit bijenparadijs het doel? Neen, daar kijkt niemand naar om. Alles wordt aan de bijen gelaten. Ja, zelfs wordt in het voorjaar, als de voedselvoorraad sterk verminderd is, extra suiker verstrekt opdat de diertjes het zoo goed mogelijk hebben en er zoo weinig mogelijk te gronde gaan. Toch heeft men hier niet te doen met een natuurreservaat; daarvoor zijn er nog steeds bijen genoeg. Ook is het geen herstellingsoord voor deze diertjes.

Het gaat hier om datgene, wat men in het dagelijksch leven als de onaangenaamste bijkomstigheid van deze nijvere diertjes beschouwt: het bijengif.

Reeds eeuwenlang was de heilzame werking van dit gif bij rheumatische of neuralgische pijnen bekend. De Grieksche arts Hippokrates (325 v. Chr.) en Galenus schreven er al over. Door de eeuwen heen heeft deze kennis onder het volk van geslacht op geslacht voortgeleefd. Daar heeft het op primitieve wijze toepassing gevonden. Men liet zich steken door de bijen. Den eersten dag eenmaal, de volgende dagen vaker en vaak met gunstig resultaat.

Bij de officieele geneeskunde was deze methode in het vergeetboek geraakt. Men vond het barbaarsch, dacht dat het bijgeloof was en schonk er geen aandacht aan. Alleen in boekjes over volksgeneeskunde uit vroeger tijden komt men de *Apis mellifica* in dit verband tegen.

Totdat omstreeks 1880 dr. Terc zich met de bestudeering van dit probleem heeft beziggehouden. Hij behandelde meer dan 1000 patiënten door hen te laten steken, waarbij hij goede resultaten verkreeg. Na hem onderzocht vooral Prof. Flury dit vraagstuk. Deze bezocht een groot aantal ijmkers en vroeg hun naar hun bevindingen. Het bleek toen, dat 58% der ijmkers, die voordat zij tot dit beroep waren overgegaan, aan rheumatische pijnen leden, volkomen genezen was en van 29% was de toestand aanzienlijk beter geworden.



### Deskundigheid

De natuurlijke autoriteit der deskundigheid wordt ook door de ervaring bevestigd: de leiding van een werkelijk deskundige, wijl uit innerlijke overtuiging stammend zonder uiterlijken dwang, wordt altijd aanvaard. Op het terrein der natuurwetenschappen met haar toepassingen berust het toekennen van deskundigheid niet op subjectieve argumentatie, maar op objectieve feiten, het criterium voor de deskundigheid ligt buiten het subject, in de objectieve natuur, die men niet kan overtuigen of overreden. Het diploma van deskundigheid wordt dan ook in laatste instantie uitgereikt door de natuur zelve aan degenen, die zich de moeite hebben getroost, haar te bestudeeren. Daarbij bedenken men, dat ook de mensch tot de natuur behoort en de zooveel gehanteerde, maar weinig exact behandelde menschenkennis allereerst kennis is van de biologische wetten, waaraan ook de mensch niet kan ontkomen, die nog altijd veel 'natuurlijker' is dan men meent. Deskundigheid op dit gebied is mogelijk en... gewenscht!



# VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

## Eb en vloed

Het eeuwig durende ritme van eb en vloed wordt veroorzaakt onder invloed van de maan en de zon. Deze twee hemellichamen zijn niet de enige factoren die het rijzen en dalen van de zeespiegel bepalen. Dr J.V. Jelley vult het beeld verder in en gaat ook in op het belang van kennis van de getijden.



## Slapen

De mens brengt ruwweg een derde van zijn leven slapend door. Het ligt dus voor de hand te onderzoeken wat nu eigenlijk de functie van slapen en dromen is. Dr A.M.L. Coenen en dr E.L.J.M. van Luitelaar geven een overzicht van de ontwikkelingen in het slaaponderzoek in de laatste tien jaar.

## Macro-evolutie

Eeuwenlang al probeert de mens de planten- en dierenwereld overzichtelijk in te delen. Centrale vraag daarbij is welke criteria men moet hanteren. Dieren op aaibaarheid indelen levert problemen op. Beter kan men uitgaan van de evolutionaire geschiedenis van een soort, meent dr R. de Jong.

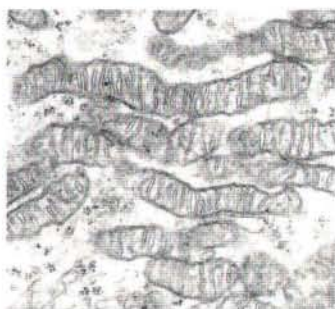


Maui Parrotbill  
*Pseudonestor xanthophrys*

## Stofvrij

Als de kamer gezogen en gestoft is, is zij schoon, maar bij lange na niet stofvrij. Zeker niet naar de normen die bijvoorbeeld de fabrikanten van chips, geneesmiddelen en com-

pact discs aanleggen. Zij eisen stofvrije ruimten in gradaties van schoonheid. F.A.M.A. Michiels beschrijft de apparatuur die meet hoe schoon lucht kan zijn.



## Rembrandt

Is te bewijzen dat een oude meester ook zelf de hand in een aan hem toegewezen meesterwerk heeft gehad? Een handtekening alleen is geen vol-

doende bewijs meer. Drs. D.J.A. Mosk laat zien hoe met behulp van een groot aantal natuurwetenschappelijke methoden, o.a. activeringsanalyse, aangetoond werd dat een beroemde Rembrandt geen Rembrandt is.

## Mitochondriaal DNA

DNA heet een kernzuur te zijn, omdat het alleen in de celkern voorkomt. Dacht men. De ontdekking dat DNA en eiwitsynthese ook in mitochondriën voorkomen

werd dan ook met ongeloof begroet. Prof dr A.M. Kroon en dr C. van den Bogert doen uit de doeken waarom deze argwaan niet terecht was.



## **Wetenschapsvoorlichting**

De Dienst Wetenschapsvoorlichting is op 1 januari 1987 gestopt met zijn werkzaamheden.

Daarmee is ook een einde gekomen aan onze mogelijkheid om uw vragen te beantwoorden.

Wij danken u voor het in ons getoonde vertrouwen.

Dienst Wetenschapsvoorlichting,  
p/a Kloveniersburgwal 29, 1011 JV Amsterdam.

